

Uso de la moringa en la nanociencia

OSCAR EDUARDO XOSOCOTLA, EDNA VÁZQUEZ VÉLEZ, RAFAEL CAMPOS AMEZCUA Y HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA

El M.I. Oscar Eduardo Xosocotla Espejel estudió Ingeniería Mecánica en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la UAEM y la Maestría en Ingeniería Química en la Facultad de Química (UNAM). Actualmente realiza sus estudios de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica en el Tecnológico Nacional de México (TecNM)/CENIDET.

La Dra. Edna Vázquez Vélez estudió la Licenciatura, Maestría y Doctorado en Química en la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP. Realizó un postdoctorado en el Centro Nacional de Investigación Científica en Gif-sur-Yvette, Francia. Actualmente trabaja en el Laboratorio de Espectroscopia del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM.

El Dr. Rafael Campos Amezcua estudió Ingeniería Mecánica en el TecNM/IT Morelia. Realizó sus estudios de Maestría en Ingeniería en la Universidad Pierre et Marie Curie, y de Doctorado en Mecánica en la Escuela Nacional Superior de Artes y Oficios de París, Francia. Actualmente es profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica del TecNM/CENIDET.

El Dr. Horacio Martínez Valencia estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente, es Investigador Titular "C", perteneciente al Grupo (FAMO) del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, y es miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Una planta llamada moringa

La *Moringa oleifera* llamada también el árbol milagroso o el árbol del rábano picante, es una planta que durante siglos ha sido señalada como medicina tradicional por sus excelentes propiedades medicinales y beneficios para la salud, por ejemplo, en la India, la moringa era utilizada para la prevención de tumores. Actualmente, estudios de laboratorio muestran que la moringa puede tratar tumores cancerosos y prevenir su desarrollo, ya que contiene un compuesto (isotiocianato de bencilo), que posee propiedades quimio-protectoras, lo que permite proteger a las células sanas de los efectos colaterales de la quimioterapia contra células cancerosas. Además, contiene niazimicina, un compuesto capaz de inhibir el desarrollo de células malignas. Adicionalmente, puede fortalecer el sistema inmune debido a sus altas propiedades nutricionales.

La moringa se ha utilizado desde hace varios años para combatir la desnutrición; países como Cuba, durante el gobierno de Fidel Castro, aseguraron que la

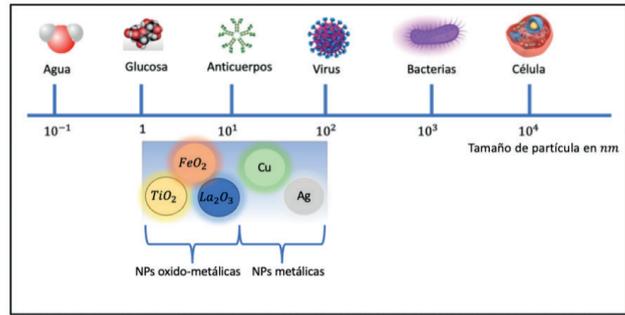


FIGURA 1 COMPARACIÓN de tamaños de NPs entre varias especies [4]. 1nm es la mil millonésima parte de un metro.

moringa era el secreto para combatir la desnutrición. Las hojas de moringa son una fuente rica de nutrientes, respecto a otras partes de la planta. Principalmente, poseen un alto contenido proteico (19-29%), son ricas en aminoácidos esenciales, en hidratos de carbono, ácidos grasos (omega 3 y 6), vitaminas y minerales. Existen estudios que relacionan sus nutrientes con otros alimentos, por ejemplo, 100 gr de hojas secas de moringa contienen 2003 mg de calcio, en comparación con 120 mg que hay en 100 ml de leche, lo que equivale a 17 veces más calcio en la moringa que en la leche; asimismo, 100 g de plátano contienen 88 mg de potasio y las hojas secas de moringa 1324 mg/100g, es decir 15 veces más potasio que el plátano y 25 veces más hierro en las hojas secas de moringa (28.2 mg/100g) que en las espinacas (1.14 mg/100g). Sin embargo, es importante destacar que una ingesta segura de hojas secas de moringa es de 5 g al día por persona [1]. No obstante, debido a su alto contenido nutricional, es importante considerarla en nuestra dieta. Habitantes de países como la India y Pakistán, así como de las islas de Hawái, utilizan las hojas, raíces, flores y las vainas de la *Moringa oleifera* como ingredientes alimenticios para elaborar sus platillos [1-2].

En los últimos 20 años, se han publicado diversos artículos sobre la evaluación científica de los mecanismos y principios de acción de los compuestos presentes en la *Moringa oleifera*. Esta información permite explicar los efectos beneficiosos previamente conocidos, ya que el uso y la aplicación de la moringa había sido de carácter empírico, donde la información se transmitía de forma oral de generación en generación [3].

Por otro lado, un estudio determinó que la respuesta antiinflamatoria se debe principalmente a la queretina que es un compuesto tipo flavonoide, que, entre otros mecanismos, inhibe la activación del factor nuclear kappa-beta, que es un compuesto esencial para desencadenar el proceso inflamatorio [3]. Recientemente se ha encontrado, que la moringa no solo tiene aplicación en el área de la medicina, sino también en el área de la nanotecnología como un agente reductor y estabilizante en la síntesis de diferentes nanopartículas [4-6].

Uso de la *Moringa oleifera* en el área de la nanotecnología

El campo de la nanotecnología avanza con pasos agigantados en la búsqueda de nuevos métodos para la obtención de nanopartículas inorgánicas con aplicaciones en el área de biomedicina e industrial. Existen diversos métodos para la obtención de nanopartículas, sin embargo, muchos de estos métodos utilizan solventes tóxicos, sustratos caros con efectos adversos y muchos de ellos requieren instrumentación específica. Es por ello por lo que resulta atractiva la posibilidad de que el extracto de Moringa pueda emplearse para obtener nanopartículas de una manera más amigable con el medio ambiente y económicamente factible.

¿Qué son las NPs?

El concepto de nanopartícula tiene un significado literal, porque nano es un prefijo griego que significa enano. Las nanopartículas (NPs) poseen dimensiones menores a 100 nm, esto puede parecer un poco increíble de imaginar, ya que son imperceptibles a la vista (ver Figura 1). Sin embargo, así como la mente no es capaz de dimensionar la inmensidad del espacio que nos rodea, tampoco es capaz de comprender algo tan pequeño. Sus dimensiones permiten su aplicación en áreas importantes como en la biomedicina, ya que el tamaño es similar al de las estructuras orgánicas de la célula, por lo que las NPs pueden atravesar la pared celular. Sin embargo, para que esto suceda debe existir cierta biocompatibilidad para que no generen un daño celular [1-3].

El uso de la moringa en la síntesis de nanopartículas

Los métodos para sintetizar nanopartículas y/o nanoestructuras, pueden ser físicos o químicos. Los métodos físicos llamados *top-down*, se basan en la reducción del tamaño del material, lo que consiste en la división del material macroscópico hasta llegar al tamaño nanométrico deseado. Esto se logra a través de su molienda, electropulverización o su descomposición térmica. Los métodos químicos, conocidos también como téc-

nicas ascendentes (*bottom-up*), utilizan átomos o moléculas en fase gaseosa o en solución capaces de auto-ensamblarse o autoorganizarse debido a un disparador químico o físico, como un cambio en el pH, en la concentración de un soluto o a la aplicación de un campo eléctrico. Estas condiciones o fuerzas empujan a los átomos a auto-ensamblarse para construir nanoestructuras. Sin embargo, las NPs sintetizadas a partir de métodos físicos o químicos presentan efectos adversos debido a la presencia de sustancias tóxicas sobre la superficie de las NPs derivadas de su síntesis. De ahí la importancia de implementar alternativas verdes para la síntesis de NPs.

La "síntesis verde" es un método que busca ser amigable con el medio (eco-amigable), mediante procesos que utilicen microorganismos, enzimas, hongos o extractos de plantas para obtener nanopartículas. Estas fuentes biológicas tienen la capacidad de actuar como un agente reductor y reducir sales de metales para obtener NPs metálicas o de óxidos metálicos y estabilizarlas. Un agente reductor es aquel que cede electrones en las reacciones de reducción-oxidación: el agente reductor pierde electrones y se oxida, mientras que, el agente oxidante suma electrones y se reduce. Por ejemplo, en una solución de sal de nitrato de plata ($AgNO_3$), la plata Ag^+ presenta un estado de oxidación +1, y es reducida a plata cero (NP de Ag^0) por un agente reductor encargado de donarle un electrón (Figura 2).

La *Moringa oleifera* es uno de los principales agentes reductores conocidos en la síntesis verde, debido a la combinación de compuestos que contiene, tales como: flavonoides, alcaloides, saponinas y polifenoles. Se trata de agentes bioreductores que forman las nanopartículas y al mismo tiempo también las estabilizan. De manera que, la síntesis de NPs a partir del extracto de moringa, ha mostrado ser un método simple, económico, efectivo, no tóxico y amigable con el medio ambiente ya que no genera residuos tóxicos. Los óxidos metálicos son las nanopartículas con mayor aplicación en el área biomédica, industrial y ambiental. Su estructura está compuesta por un elemento metálico más oxígeno, por ejemplo: La_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 y ZnO . Sin embargo, las nanopartículas pueden ser metálicas, un ejemplo de ello, son las nanopartículas de plata (Ag) ampliamente reconocidas y aprobadas como un excelente agente antimicrobiano por su alta actividad biocida. Las NPs poseen diferentes propiedades fisicoquímicas, lo que permite su aplicación en diferentes áreas. Es el caso de las NPs que presentan actividad fotocatalítica esto permite usarlas en el área ambiental, ya que son capaces de desintegrar las moléculas de los colorantes textiles al exponerlas a la luz, mientras que en el sector biomédico presentan actividad antibacteriana y antiinflamatoria, y muchas otras por sus propiedades mecánicas en el área industrial [3,5,7].

Nanopartículas en biomedicina

Hoy en día, NPs tales como La_2O_3 , CeO_2 , NiO , ZnO , Fe_2O_3 , Ag y Fe obtenidas a partir de una síntesis verde, presentan excelentes propiedades antibacteriales, antiinflamatorias y una buena actividad citotóxica. Algunas NPs como las de

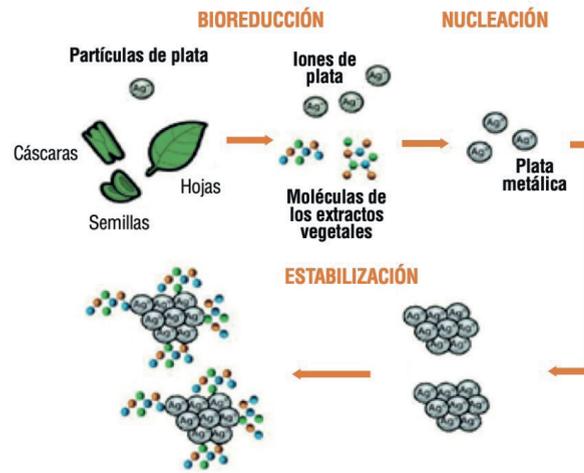


FIGURA 2 PROCESO de síntesis verde de NPs de plata [8].

La_2O_3 , funcionan como vehículos para la liberación de fármacos contra agentes infecciosos que provocan enfermedades al organismo. Las NPs que se utilizan como vehículos para transportar fármacos regularmente presentan una estructura porosa. Por ejemplo, la estructura de las NPs de SiO_2 permite albergar cantidades apreciables de fármacos, para después proceder a una liberación controlada por medio de cambios en el pH, temperatura, pulsos de luz, campos eléctricos o magnéticos, lo que provoca cambios en la estructura del SiO_2 que actúan como válvulas para la liberación del fármaco [4,5].

Otras NPs importantes en biomedicina son las NPs de Fe_3O_4 o Fe_2O_3 , NPs magnéticas ampliamente investigadas como agentes de contraste en imágenes de resonancia magnética, por su biocompatibilidad y fácil biodegradación por el organismo. Sin embargo, sus aplicaciones no se limitan a estos temas, ya que también pueden ser utilizadas como vehículos para transportar fármacos en áreas específicas que se liberan por estímulos de un campo magnético [6]. Las NPs de óxido de lantano, cobre y de hierro, presentan excelentes propiedades antimicrobianas, cuyo mecanismo de acción es diferente a los antibióticos tradicionales, lo cual resulta ser una excelente alternativa para combatir la creciente resistencia a los antibióticos. El estrés oxidativo es uno de los mecanismos de las NPs para destruir los microorganismos en donde por su tamaño, las NPs pueden atravesar la pared celular y llegar así al medio intracelular bacteriano. Una vez dentro se genera un desbalance oxidativo elevando los niveles de especies reactivas al oxígeno y degradando los componentes esenciales de las células bacterianas, produciendo así su muerte [6,7].

Nanopartículas en la industria agropecuaria y en la degradación de contaminantes en la industria textil

Un problema actual en el sector agropecuario es la eficiencia de la germinación de las semillas. NPs

como el óxido de titanio, ayudan a mejorar la germinación de las semillas, acelerando las cosechas, debido a que se incrementa el rango de asimilación de nitrógeno del suelo, lo que repercute en la biosíntesis más eficiente de clorofila, lo que a su vez permite absorber más luz para convertirla en energía utilizable por la planta. Además, cuando las NPs de óxido de titanio absorben radiación UV liberan radicales y aniones que contienen oxígeno como hidroxilos y aniones superóxidos, especies reactivas que inducen una serie de reacciones de oxidación-reducción (redox) que por un lado eliminan microorganismos patógenos, y por otro coadyuvan al proceso de fotosíntesis, repercutiendo en un mayor número de hojas y una mayor longitud en las ramas [9].

La industria textil es uno de los mayores contaminantes de sistemas acuíferos vía los tintes orgánicos desechados al medio ambiente que causan daño en los animales y plantas. Algunos de estos tintes orgánicos son: azul metileno, rojo congo y 4-nitrofenol, los cuales son difíciles de remover por métodos convencionales utilizados en los tratamientos de aguas. Las NPs de plata y óxido de titanio, son ampliamente utilizadas en la degradación de tintes orgánicos usados en la industria textil, ya que presentan excelentes propiedades fotocatalíticas que en presencia de los rayos del sol aceleran el proceso de degradación de los tintes orgánicos. El mecanismo inicia cuando la solución (NPs + agua contaminada) se expone a los rayos solares. Si la energía de los rayos solares es suficiente, excita los electrones en la banda de valencia, enviándolos hacia la banda de conducción. Ello genera el par hueco-electrón, término que se refiere a la deficiencia de electrones en la banda de menor energía (banda de valencia) y la presencia simultánea de un electrón excitado en la banda de conducción. Al mantenerse la separación de cargas, el hueco (h^+) y el electrón (e^-) pueden migrar a la superficie del catalizador, en donde inician una cascada de reacciones de oxidación y reducción, en las cuales participan las especies químicas

adsorbidas en la superficie del catalizador. Los huecos foto-formados en la superficie del semiconductor presentan carga positiva y pueden degradar el tinte orgánico [7-10]

Nanopartículas en la energía eólica

Uno de los principales problemas en la industria eólica es la erosión de las aspas de los aerogeneradores, que son responsables de captar la energía cinética del viento, cuyo diseño aerodinámico nos permite tener una óptima eficiencia (ver Figura 3). Sin embargo, debido a los impactos por partículas sólidas, lluvia, granizo y a su exposición a los rayos UV, las aspas comienzan a erosionarse y degradarse modificando la aerodinámica, lo que repercute en la pérdida de producción de energía. Es por ello por lo que se requiere implementar nuevos recubrimientos poliméricos que presenten excelente resistencia a la erosión y a la radiación UV [11,12]. En este sentido, los recubrimientos de películas poliméricas son mejores cuando se incluyen NPs. Por ejemplo, los recubrimientos con NPs de óxido de titanio, presentan una excelente resistencia a los rayos UV disminuyendo su degradación por exposición a los rayos solares, mientras que, las NPs de óxido de silicio, de aluminio y NPs base carbono (nanotubos de grafeno, grafeno y óxido de grafeno) presentan una excelente resistencia a la erosión y desgaste. Estas propiedades permiten que las aspas de los aerogeneradores conserven sus óptimas condiciones de diseño [7].

La formación de hielo en las palas o aspas de los aerogeneradores sigue siendo uno de los principales problemas en esta industria. En las montañas, los aerogeneradores están en contacto con las nubes en temporadas de invierno, lo cual provoca la formación de hielo en las palas generando problemas graves en el aerogenerador y en su producción de energía. Las propiedades hidrofílicas (facilidad de humectarse con agua) e hidrofóbicas (no se humectan con agua) de la superficie de un material pueden modificarse cuando se agregan NPs. Estas características permiten su aplicación en ambientes con temperaturas ba-

jas. Por ejemplo, NPs de óxido de silicio esparcidas sobre el recubrimiento de poliuretano de un aspa, hacen su superficie super hidrofóbica, propiedad que permite que no se acumule agua sobre su superficie evitando la formación de hielo sobre las aspas (antihielo pasivo). Es interesante pensar que, las superficies super hidrofóbicas están presentes en la naturaleza como: alas de la mariposa, plumas de pingüino, hojas de muchos árboles, escamas de los tiburones, entre otros [11-12].

En conclusión

La moringa ha sido utilizada durante muchos siglos por sus propiedades medicinales y su alto valor nutritivo. Hoy en día, sus múltiples beneficios han inspirado a la nanociencia para descubrir nuevas aplicaciones en el área de la nanotecnología. Las NPs obtenidas a partir de una síntesis verde presentan grandes ventajas, principalmente en el área biomédica, por su no toxicidad. Sin embargo, diferentes NPs son ampliamente utilizadas en diferentes áreas, por lo que buscar alternativas verdes para su obtención permitirá ayudar a prevenir la contaminación ambiental al minimizar la generación de residuos tóxicos.

Referencias

- [1] Trigo, C. (2020). Potencialidad de la Moringa (*Moringa oleifera*) como ingrediente alimentario [Tesis de licenciatura]. Universidad Politécnica de Valencia. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105290>
- [2] https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/160118_salud_moringa_planta_venezuela_lb
- [3] https://ciencia.unam.mx/leer/261/Beneficios_nutritivos_y_medicinales_de_la_moringa
- [4] Espinoza, C. (2015). Síntesis de nanopartículas de SiO como potenciales vehículos para administración de fármacos [Tesis de Maestría]. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- [5] Llinás, M. C., & Sánchez-García, D. (2014). Nanopartículas de sílice: preparación y aplicaciones en biomedicina. *Afinidad*, 71(565), 20- 31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4672488>

[6] Jimeno, S. G. (2013). Nanopartículas magnéticas para aplicaciones biomédicas en TDX [Tesis de doctorado]. Universidad de Barcelona.

[7] Maheshwaran, G., Selvi, M., Muneeswari, R. S., Bharathi, A., Kumar, M. K., & Sudhahar, S. (2021). Green synthesis of lanthanum oxide nanoparticles using Moringa oleifera leaves extract and its biological activities. *Advanced Powder Technology*, 32(6), 1963-1971. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2021.04.004>

[8] Gomez Garzon M. (2018). *Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde*. *Repert Med. Cir.* 27(2), 75-80. <https://www.fucsalud.edu.co/sites/default/files/2018-08/Art-1.pdf>

[9] Gupta, S. D., & Jain, P. (2023). Eco-friendly synthesis of TiO2 nanoparticles by moringa oleifera leaves, their characterization and impact on spinach seeds (Spinacia oleracea). *Materials Today: Proceedings*, 89, 91-95. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.730>

[10] Mehwish, H. M., Rajoka, M. S. R., Xiong, Y., Cai, H., Aadil, R. M., Mahmood, Q., He, Z., & Zhu, Q. (2021). Green synthesis of a silver nanoparticle using moringa oleifera seed and its applications for antimicrobial and sun-light mediated photocatalytic water detoxification. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105290. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105290>

[11] Wang, X., Tang, Z., Yan, N., & Zhu, G. (2022). Effect of different types of erosion on the aerodynamic performance of wind turbine airfoils. *Sustainability*, 14(19), 12344. <https://doi.org/10.3390/su141912344>

[12] Zhang, L., Zhang, H., Liu, Z., Jiang, X., Agathopoulos, S., Deng, Z., Gao, H., Zhang, L., Lu, H., Deng, L., & Liang, Y. (2023). Nano-silica anti-icing coatings for protecting wind-power turbine fan blades. *Journal of Colloid and Interface Science*, 630, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.09.154>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

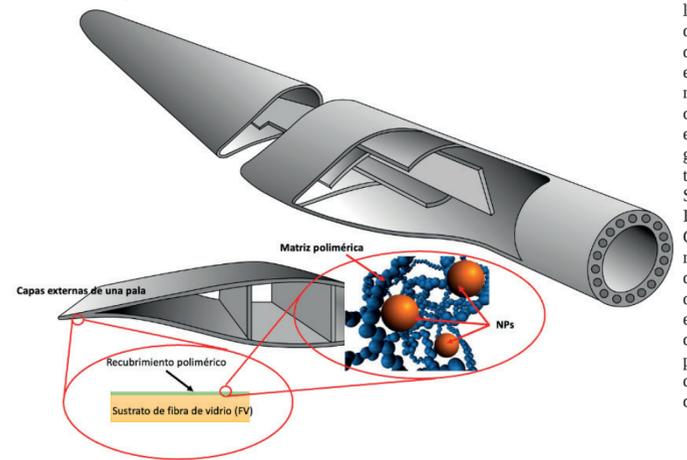


FIGURA 3 PERFIL de un aspa de un aerogenerador señalando su recubrimiento.