

## Síntesis de fitonanopartículas de cobre, una opción más amigable con el medio ambiente

Fermín Jonapá-Hernández\*, Nancy Ruiz-Lau, Víctor M. Ruiz-Valdivieso, Federico A. Gutiérrez-Miceli

*Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Carretera Panamericana  
Bulevares 1080, C.P. 29050. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.*

\**ferminibq@gmail.com.*

### Resumen

En el presente trabajo se realiza una síntesis sobre la historia de la nanotecnología enfocándose en su origen y los conceptos actualmente utilizados en esta área de la ciencia. De igual manera se retoman los puntos clave para llevar a cabo la síntesis verde y la importancia de este método para obtener nanopartículas de cobre a partir de extractos vegetales, así como las principales herramientas para su caracterización.

**Palabras clave:** *síntesis verde, nanotecnología, extractos vegetales.*

### Abstract

In the present work a synthesis is made about the history of nanotechnology focusing on its origin and the concepts currently used in this area of science. Similarly, the key points are taken to carry out the green synthesis and the importance of this method to obtain copper nanoparticles from plant extracts, as well as the main tools for their characterization.

**Key words:** *green synthesis, nanotechnology, plant extracts.*

### Introducción

Actualmente la ciencia se encuentra en una tendencia para lograr la miniaturización de productos dando lugar a la "nano era" implicando así la manipulación de materia en la nano-escala la cual ha

evolucionado hasta nanotecnología. Consecuentemente nacen las nanopartículas (NPs) las cuales por diversos autores (Husen y Siddiqi, 2014; Devatha y Thalla, 2018; Das y Chatterjee, 2019;) han sido clasificadas de acuerdo con su origen, forma, materiales y

tipo de síntesis. Actualmente existe una controversia respecto al uso de nanopartículas en sistemas o prácticas en las cuales se tengan que exponer directamente al medio ambiente destacando la agricultura, para la cual se está proponiendo el uso de NPs de cobre como control de fitopatógenos debido a las propiedades históricas antimicrobianas que posee este metal. Sin embargo, aún se desconocen los efectos secundarios de la aplicación de estas NPs. Aunado a eso no se cuenta con una regularización para el uso de este tipo de tecnologías la cual se pueda tomar como referencia. Es por todo lo anterior que el objetivo del presente trabajo es analizar la situación actual sobre los conceptos de síntesis verde de nanopartículas y los aspectos importantes para llevar a cabo la síntesis de nanopartículas de cobre más amigables con el medio ambiente utilizando extractos de vegetales.

## *Origen del concepto de nanopartícula*

El inicio de la nanociencia se dio el 29 de diciembre de 1959, en una reunión de la American Physical Society en el Instituto de Tecnología de California, cuando el físico Richard Feynman dio una charla titulada "Hay mucho espacio en la parte inferior" dando así origen a la idea y las bases para el concepto de nanociencia. Posteriormente el control sobre átomos y moléculas, y su posterior manipulación, dio lugar al dominio de la nanotecnología. Sin embargo, en 1974, Norin Taniguchi usó por primera vez la palabra

"Nanotecnología" al presentar un documento titulado "Sobre el concepto básico de nanotecnología" en la Conferencia Internacional sobre Ingeniería de Producción en Tokio, Japón (Taniguchi, 1974; Kumar et al. 2019). Diversas instituciones como la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos (NNI, por sus siglas en inglés), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Comisión Europea en la Unión Europea se han dado la tarea de construir una definición para nanotecnología. Todos estos organismos convergen en que nanotecnología es la aplicación del conocimiento y el control de la materia para obtener materiales en dimensiones entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros (nm), donde los fenómenos únicos permiten novedosas aplicaciones (Horikoshi y Serpone, 2013; Zamorano, 2016; Das y Chatterjee, 2019). Como consecuencia de la nanotecnología nacen las nanopartículas las cuales por definición son partículas que tienen un diámetro de 1-100 nm. Estas nanopartículas tienen propiedades únicas, como una gran relación área-superficie-volumen y alta energía superficial (Taniguchi, 1974; Ali et al. 2016; Maham et al. 2017). Los primeros reportes sobre la aplicación industrial de partículas coloidales se informaron en 1676, y la aplicación de oro coloidal se remonta a principios de 1718 (Kumar et al. 2019).

## *Aspectos importantes sobre la utilización de síntesis verde*

# Artículos

Las fitonanopartículas de  $\text{Cu}^{2+}$  pertenecen a la subclasificación de nanopartículas de síntesis verde y se les denomina fitonanopartículas por el hecho de usar extractos de plantas o partes de ellas como las hojas, tallos, raíces, flores o frutos en los cuales se encuentran compuestos polifenólicos, azúcares, proteínas, aminoácidos u otros compuestos capaces de reducir a agentes metálicos como el cobre. La síntesis verde de nanopartículas representa un avance sobre otros métodos porque es simple, rentable y relativamente reproducible, y a menudo da como resultado materiales más estables comparada con otros métodos como la síntesis química. Los microorganismos también se pueden utilizar para producir nanopartículas, pero la velocidad de síntesis es lenta y solo un número limitado de los tamaños y las formas son susceptibles al método en comparación con las rutas que involucran materiales a base de plantas. En el método de síntesis verde, no hay requisito para alta presión, energía, temperatura o productos químicos tóxicos. Por lo tanto, hoy en día, muchos investigadores se están desviando del uso de métodos sintéticos. Debido a estas ventajas la síntesis verde está ganando una importancia en todos los campos centrándose en un entorno más verde. A continuación, en la tabla 1 se presentan

algunos reportes sobre síntesis verde de NPs de  $\text{Cu}^{2+}$ , lo destacable aquí es la diversidad de plantas que se pueden llegar a utilizar para la obtención de fitonanopartículas. Sin embargo, se recomienda que el contenido de polifenoles sea alto debido a que son los principales precursores para la obtención de NPs recomendándose principalmente el uso de las hojas para obtener los extractos debido a que ahí se encuentra la mayor cantidad de estos compuestos en la mayoría de las plantas. Aunque Mary et al. (2019), proponen el uso del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para obtener NPs de cobre destacando que, en su trabajo, es el tallo la parte de la planta el que se usa para el extracto, lo que comprobó que se pueden utilizar partes diferentes a las hojas para elaborar el extracto de síntesis. El tamaño de las fitonanopartículas obtenidas es muy variados entre protocolo y protocolo, probablemente debido a las diferentes estructuras de los compuestos presentes en los extractos. Así, se obtiene una amplia variedad de tamaños de NPs. Por ejemplo, Chaudhary et al. (2019) e Ismail (2020), ambos utilizando sulfato de cobre, pero obtenido de diferentes plantas (*Musa acuminata* y *Rhus coriaria* L.) no lograron obtener el mismo rango de tamaños de NPs reportando 84.40 y 7-24 nm respectivamente.

# Artículos

Tabla 1. Protocolos de síntesis de fitonanopartículas de cobre.

Planta y compuesto de cobre utilizado en la síntesis	Tamaño reportado	Referencia
<i>Arachis hypogaea</i> L. y óxido de cobre	30-50 nm	(Ramesh et al, 2011)
<i>Aloe barbadensis</i> Miller y sulfato de cobre	20 nm	(Gunalan et al, 2012)
<i>Calotropis procera</i> L. y acetato de cobre	50 y 100 nm	(Harne et al, 2012)
<i>Tabernaemontana divaricate</i> y sulfato de cobre	48 nm	(Sivaraj et al, 2014)
<i>Acalypha indica</i> sulfato de cobre	26–30 nm	(Sivaraj et al, 2014)
<i>Ginkgo biloba</i> L. y cloruro de cobre	15-20 nm	(Nasrollahzadeh y Sajadi, 2015)
<i>Calotropis gigantea</i> y nitrato cúprico	20 nm	(Sharma et al, 2015)
<i>Gloriosa superba</i> L. y nitrato cúprico	5–10 nm	(Naika et al, 2015)
<i>Citrus limon</i> y acetato de cobre monohidratado	5-20 nm	(Mohan et al, 2015)
<i>Punica granatum</i> y acetato de cobre monohidratado	10–100 nm	(Ghidan et al, 2016)
<i>Thymus vulgaris</i> L. y cloruro de cobre	30 nm	(Nasrollahzadeh et al, 2016)
<i>Plantago asiatica</i> y cloruro de cobre	7–35 nm	(Nasrollahzadeh et al, 2017)
<i>Aglaia elaeagnoidea</i> y nitrato de cobre	36-54 nm	(Manjari et al, 2017)
<i>Azadirachta indica</i> y Cloruro de cobre dihidratado	48 nm	(Nagar y Devra, 2018)
<i>Ziziphus spina-christi</i> L. y sulfato de cobre	5–20 nm	(Khani et al, 2018)
<i>Syzygium aromaticum</i> y acetato de cobre	20 nm	(Rajesh et al, 2018)
<i>Camellia sinensis</i> y sulfato de cobre	26–40 nm	(Asghar et al, 2018)
<i>Sida acuta</i> y sulfato de cobre	61.7 nm	(Sathiyavimal et al, 2018)
<i>P. granatum</i> y cloruro de cobre	40–80 nm	(Nazar et al, 2018)
<i>Punica granatum</i> y sulfato de cobre	20.33 nm	(Vidovix et al, 2019)
<i>Tinospora cardifolia</i> y cloruro de cobre	63.3-143 nm	(Sharma et al, 2019)
<i>Enicostemma axillare</i> y sulfato de cobre	30 nm	(Chand et al, 2019)

# Artículos

<i>Musa acuminata</i> y sulfato de cobre	50–60 nm	(Chaudhary et al, 2019)
<i>Saccharum officinarum</i> y nitrato de cobre	84.40 nm	(Mary et al, 2019)
<i>Psidium guajava</i> y acetato de cobre monohidratado	2–6 nm	(Singh et al, 2019)
<i>Euphorbia maculata</i> y sulfato de cobre	18 nm	(Pakzad et al, 2019)
<i>Justicia specigera</i> y nitrato de cobre	53 nm	(Gonzales et al, 2019)
<i>Rhus coriaria</i> L. y sulfato de cobre	7-24 nm	(Ismail, 2020)
<i>Curcuma longa</i> y acetato de cobre dihidratado	5-25 nm	(Jayarambabu et al, 2020)

---

## *Síntesis verde y caracterización de nanopartículas de cobre*

La síntesis de NPs a partir de extractos de plantas implica tres fases: (1) fase de activación, (2) fase de crecimiento y (3) fase de terminación del proceso. Durante la activación, se producirá la reducción de iones metálicos, y esto conduce a la formación de nuevas estructuras mediante autoorganización (nucleación) reducción de átomos metálicos. La segunda fase implica el crecimiento de la estructura recién formada y una mayor reducción de los iones metálicos con un aumento de la estabilidad termodinámica de las NPs formadas (Devatha and Thalla, 2018). En la figura 1 se representa de forma general los pasos de la síntesis de fitonanopartículas, así como las principales

herramientas reportadas para la caracterización de las fitonanopartículas de cobre. Estas técnicas y herramientas para caracterizar NPs de cobre ayudan a conocer el tamaño, forma, propiedades hidrostáticas entre otras. Además, asegura la presencia y formación de las NPs lo que permite discutir sobre algunas de sus propiedades o mecanismos de acción sobre los sistemas en los que se emplean. Las técnicas y herramientas más reportadas son el microscopio electrónico de barrido (SEM) por sus siglas en inglés, análisis de rayos X dispersivos de energía (EDX), microscopía de fuerza atómica, espectroscopia UV-vis, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (IR-FT), difracción de rayos X (DRX) y dispersión dinámica de la luz (DLS) entre otras (Titus et al. 2019).

# Artículos

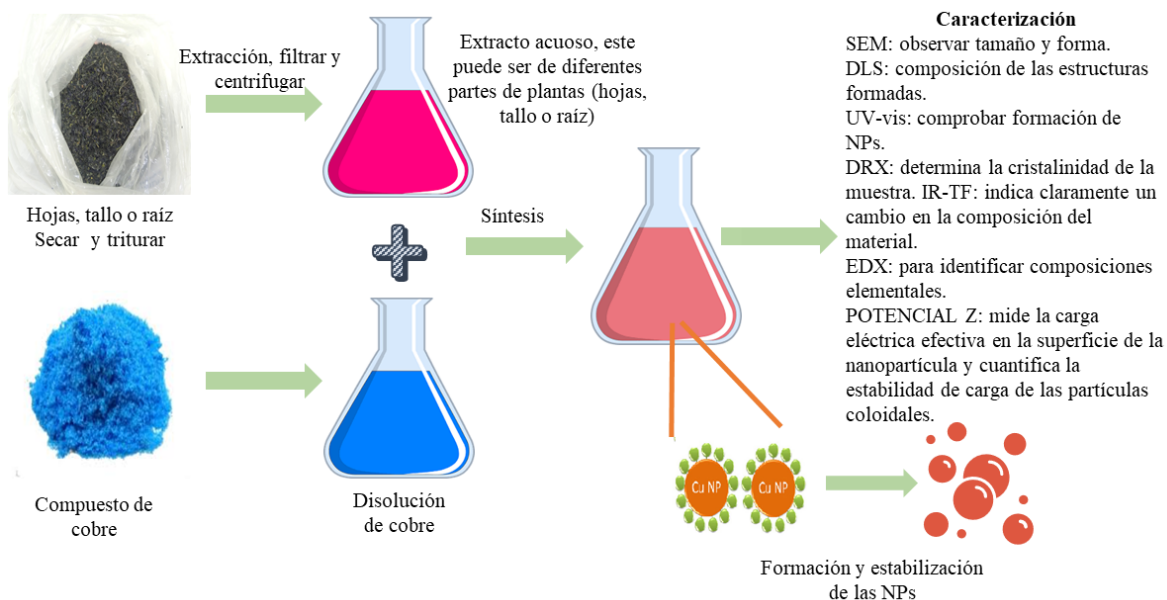


Figura 1. Esquema simplificado de la síntesis de fitonanopartículas de cobre y los principales métodos para caracterizarlas: microscopio electrónico de barrido (SEM), dispersión dinámica de la luz (DLS), difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (IR-FT), rayos X dispersivos de energía (EDX) y potencial Z.

## Conclusiones

Independientemente del origen del concepto, las nanopartículas llegaron para quedarse en el ámbito tecnológico y posteriormente en diversas áreas de aplicación. Este hecho ha provocado que se generen diversos protocolos destacando los de síntesis verde. Los protocolos de síntesis verde se presentan como una propuesta para la generación de NPs con un aspecto más amigable con el medioambiente por utilizar y generar una menor cantidad de compuestos tóxicos. Además, estas NPs poseen propiedades antimicrobianas que pueden ser útiles en el sector de la medicina o agronomía. La diferencia de los resultados reportados sobre el tamaño, actividad antimicrobiana

entre otras propiedades y características de las NPs es consecuencia del uso de diferentes plantas y parte de ellas que se utilizan para la generación del extracto aunado a las condiciones de trabajo como la temperatura, pH, presión o tiempo.

## Referencias

- Ali A, Hira Zafar MZ, ul Haq I, Phull AR, Ali JS. and Hussain A. (2016). Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnol Sci Appl.* 9-49.
- Asghar, M. A., Zahir, E., Shahid, S. M., Khan, M. N., Asghar, M. A., Iqbal, J. and Walker, G. (2018). Iron, copper and

- silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B 1 adsorption activity. *LWT*, 90, 98–107. doi:10.1016/j.lwt.2017.12.009.
- Chand Mali, S., Raj, S. and Trivedi, R. (2019). Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using *Enicostemma axillare* (Lam.) leaf extract. *Biochem Biophys Rep* 20, 100699. doi:10.1016/j.bbrep.2019.100699.
- Chaudhary, S., Rohilla, D., Umar, A., Kaur, N. and Shanavas, A. (2019). Synthesis and characterizations of luminescent copper oxide nanoparticles: Toxicological profiling and sensing applications. *Ceramics International*. doi:10.1016/j.ceramint.2019.04.239.
- Das, M. and Chatterjee, S. (2019). Green synthesis of metal/metal oxide nanoparticles toward biomedical applications: Boon or bane. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, 265–301. doi:10.1016/b978-0-08-102579-6.00011-3.
- Devatha, C. P. and Thalla, A. K. (2018). Green Synthesis of Nanomaterials. *Synth Inorg Nanomat* 169–184. doi:10.1016/b978-0-08-101975-7.00007-5.
- Ghidan, A. Y., Al-Antary, T. M. and Awwad, A. M. (2016). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Punica granatum* peels extract: Effect on green peach Aphid. *Environ Nanotech Monitor Manag* 6, 95–98. doi:10.1016/j.enmm.2016.08.002.
- Gonzalez-Mendoza, D., Valdez-Salas, B., Bernardo-Mazariegos, E., Tzintzun-Camacho, O., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. and Sanchez-Viveros, G. (2019). Influence of monometallic and bimetallic phytonanoparticles on physiological status of mezquite. *Open Life Scien* 14(1), 62–68.
- Gunalan, S., Sivaraj, R. and Venckatesh, R. (2012). *Aloe barbadensis* Miller mediated green synthesis of mono-disperse copper oxide nanoparticles: Optical properties. *Spectrochimica Acta Part A: Mol Biomol Spectros* 97: 1140-1144. doi:10.1016/j.saa.2012.07.096.
- Harne, S., Sharma, A., Dhaygude, M., Joglekar, S., Kodam, K. and Hudlikar, M. (2012). Novel route for rapid biosynthesis of copper nanoparticles using aqueous extract of *Calotropis procera* L. latex and their cytotoxicity on tumor cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 95, 284–288. doi:10.1016/j.colsurfb.2012.03.005.
- Horikoshi, S. and Serpone, N. (2013). Introduction to Nanoparticles. *Microwaves in Nanoparticle*

- Synthesis, 1–24. doi: 10.1002/9783527648122.ch1.
- Husen, A. and Siddiqi, K.S. (2014) Phytosynthesis of nanoparticles: concept, controversy and application. *Nanoscale Res Lett* 9, 229 doi:10.1186/1556-276X-9-229.
- Ismail, M. I. M. (2020). Green Synthesis and Characterizations of Copper Nanoparticles. *Mat Chem Phys*, 122283. doi:10.1016/j.matchemphys.2019.122283.
- Khani, R., Roostaei, B., Bagherzade, G. and Moudi, M. (2018). Green synthesis of copper nanoparticles by fruit extract of *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd.: Application for adsorption of triphenylmethane dye and antibacterial assay. *J Mol Liq*, 255: 541–549. doi:10.1016/j.molliq.2018.02.010.
- Jayarambabu, N., Akshaykranth, A., Venkatappa Rao, T., Rao, K. V. and Rakesh Kumar, R. (2020). Green synthesis of Cu nanoparticles using *Curcuma longa* extract and their application in antimicrobial activity. *Mat Lett* 126813. doi:10.1016/j.matlet.2019.126813.
- Kumar, I., Mondal, M. and Sakthivel, N. (2019). Green synthesis of phytogetic nanoparticles. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, 37–73.
- Maham M, Nasrollahzadeh M, Sajadi SM. and Nekoei M. (2017). Biosynthesis of Ag/reduced Graphene oxide/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> using Lotus garcinii leaf extract and its application as a recyclable nanocatalyst for the reduction of 4-nitrophenol and organic dyes. *J Colloid Interface Sci.* (497) , 33–42.
- Mohan, S., Singh, Y., Verma, D. K. and Hasan, S. H. (2015). Synthesis of CuO nanoparticles through green route using *Citrus limon* juice and its application as nanosorbent for Cr(VI) remediation: Process optimization with RSM and ANN-GA based model. *Process Saf Environ Protect* 96:156–166. doi:10.1016/j.psep.2015.05.005.
- Manjari, G., Saran, S., Arun, T., Vijaya Bhaskara Rao, A. and Devipriya, S. P. (2017). Catalytic and recyclability properties of phytogetic copper oxide nanoparticles derived from *Aglaia elaeagnoidea* flower extract. *J Saudi Chem Soc* 21(5):610–618. doi:10.1016/j.jscs.2017.02.004.
- Mary, A. P. A., Ansari, A. T. and Subramanian, R. (2019). Sugarcane juice mediated synthesis of copper oxide nanoparticles, characterization and their antibacterial activity. *J King Saud Univ-Science*. doi:10.1016/j.jksus.2019.03.003
- Nagar, N. and Devra, V. (2018). Green synthesis and characterization of copper nanoparticles using



- Azadirachta indica* leaves. Mat Chem Phys 213:44–51. doi:10.1016/j.matchemphys.2018.04.007.
- Naika, H. R., Lingaraju, K., Manjunath, K., Kumar, D., Nagaraju, G., Suresh, D. and Nagabhushana, H. (2015). Green synthesis of CuO nanoparticles using *Gloriosa superba* L. extract and their antibacterial activity. J Taibah Univ Scien, 9(1):7–12. doi:10.1016/j.jtusci.2014.04.006.
- Nasrollahzadeh, M. and Mohammad Sajadi, S. (2015). Green synthesis of copper nanoparticles using *Ginkgo biloba* L. leaf extract and their catalytic activity for the Huisgen [3+2] cycloaddition of azides and alkynes at room temperature. J Colloid Interf Scien 457:141–147. doi:10.1016/j.jcis.2015.07.004.
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Rostami-Vartooni, A. and Hussin, S. M. (2016). Green synthesis of CuO nanoparticles using aqueous extract of *Thymus vulgaris* L. leaves and their catalytic performance for N-arylation of indoles and amines. J Colloid and Interf Scien 466:113–119. doi:10.1016/j.jcis.2015.12.018.
- Nasrollahzadeh, M., Momeni, S. S. and Sajadi, S. M. (2017). Green synthesis of copper nanoparticles using *Plantago asiatica* leaf extract and their application for the cyanation of aldehydes using K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>. Journal of Colloid and Interface Science, 506, 471–477. doi:10.1016/j.jcis.2017.07.072.
- Nazar, N., Bibi, I., Kamal, S., Iqbal, M., Nouren, S., Jilani, K. and Ata, S. (2018). Cu nanoparticles synthesis using biological molecule of *P. granatum* seeds extract as reducing and capping agent: Growth mechanism and photo-catalytic activity. Int J Biol Macromol 106: 1203–1210. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.08.126.
- Pakzad, K., Alinezhad, H. and Nasrollahzadeh, M. (2019). Green synthesis of NiFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and CuO nanoparticles using *Euphorbia maculata* extract as photocatalysts for the degradation of organic pollutants under UV-irradiation. Ceramics Int doi:10.1016/j.ceramint.2019.05.272.
- Rajesh, K. M., Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., Suneetha, Y. and Reddy, P. S. (2018). Assisted green synthesis of copper nanoparticles using *Syzygium aromaticum* bud extract: Physical, optical and antimicrobial properties. Optik, 154, 593–600. doi:10.1016/j.ijleo.2017.10.074.
- Ramesh, C., HariPrasad, M. and Ragunathan, V. (2011). Effect of *Arachis hypogaea* L. Leaf Extract on Barfoeds Solution; Green Synthesis of Cu<sub>2</sub>O Nanoparticles and its Antibacterial

- Effect. *Curr Nanosci* 7(6):995–999. doi:10.2174/157341311798220781.
- Sathiyavimal, S., Vasantharaj, S., Bharathi, D., Mythili, S., Manikandan, E., Kumar, S. S. and Pugazhendhi, A. (2018). Biogenesis of copper oxide nanoparticles (CuONPs) using *Sida acuta* and their incorporation over cotton fabrics to prevent the pathogenicity of Gram negative and Gram positive bacteria. *Journal of Photochem Photobiol B: Biol* doi:10.1016/j.jphotobiol.2018.09.014
- Sharma, J. K., Akhtar, M. S., Ameen, S., Srivastava, P. and Singh, G. (2015). Green synthesis of CuO nanoparticles with leaf extract of *Calotropis gigantea* and its dye-sensitized solar cells applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 632, 321–325. doi:10.1016/j.jallcom.2015.01.172.
- Sharma, P., Pant, S., Dave, V., Tak, K., Sadhu, V. and Reddy, K. R. (2019). Green synthesis and characterization of copper nanoparticles by *Tinospora cardifolia* to produce nature-friendly copper nano-coated fabric and their antimicrobial evaluation. *J Microbiol Meth* doi:10.1016/j.mimet.2019.03.007.
- Singh, J., Kumar, V., Kim, K.-H. and Rawat, M. (2019). Biogenic synthesis of copper oxide nanoparticles using plant extract and its prodigious potential for photocatalytic degradation of dyes. *Environ Res* 108569. doi:10.1016/j.envres.2019.108569.
- Sivaraj, R., Rahman, P. K. S. M., Rajiv, P., Narendhran, S. and Venckatesh, R. (2014). Biosynthesis and characterization of *Acalypha indica* mediated copper oxide nanoparticles and evaluation of its antimicrobial and anticancer activity. *Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectros* 129, 255–258. doi:10.1016/j.saa.2014.03.027.
- Sivaraj, R., Rahman, P. K. S. M., Rajiv, P., Salam, H. A. and Venckatesh, R. (2014). Biogenic copper oxide nanoparticles synthesis using *Tabernaemontana divaricate* leaf extract and its antibacterial activity against urinary tract pathogen. *Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectros* 133:178–181. doi:10.1016/j.saa.2014.05.048.
- Taniguchi N. (1974). On the basic concept of nano-technology. *Proc Intl Conf Prod London*; British Society of Precision Engineering.
- Titus, D., James Jebaseelan Samuel, E. and Roopan, S. M. (2019). Nanoparticle characterization techniques. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, 303–319. doi:10.1016/b978-0-08-102579-6.00012-5.

Vidovix, T. B., Quesada, H. B., Januário, E. F. D., Bergamasco, R. and Vieira, A. M. S. (2019). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Punica granatum* leaf extract applied to the removal of methylene blue. *Mat Lett* 126685.

doi:10.1016/j.matlet.2019.126685.

Zamorano Farías, R. (2016). La relación entre el sistema de la política y el sistema del derecho en México. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 1(147), 303.