

Presentación

Ocho mil millones de personas en la Tierra enfrentan cada día retos relacionados con la producción de alimentos y el cuidado del ambiente. La ONU (Organización de las Naciones Unidas), en su *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*, tiene como uno de sus objetivos “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y promover la agricultura sostenible”, así, plantea, como parte de este su segundo objetivo:

2.4 De aquí al 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra. (ONU, 2015: 18).

Para la sociedad, siguen siendo demandas comunes, singulares, y en muchas ocasiones urgentes, tener acceso a alimentos inocuos y sanos, así como el reclamo de vivir rodeados de ecosistemas sostenibles. De manera que, tomando en cuenta los desafíos anteriores respecto a la producción, el suministro de alimentos y otros servicios, así como la sustentabilidad del medio ambiente, varias áreas del conocimiento se han diversificado para formar especialistas que atiendan los retos de producción de alimentos y cuidado del ambiente, mediante enfoques y tecnologías sin precedente.

La nanociencia y nanotecnología

Durante las últimas décadas, la nanociencia y la nanotecnología se han desarrollado vertiginosamente participando e influenciando prácticamente en todas las áreas del conocimiento y todo tipo de desarrollos tecnológicos. Por lo anterior, especialistas de los sectores agrícola y ambiental han identificado el potencial de las nanotecnologías (NTE) y han sumado sus capacidades y habilidades en la búsqueda de nuevas aplicaciones o desarrollos tecnológicos, a través de la síntesis y evaluación de múltiples materiales de dimensiones nanométricas con propiedades y características diferentes a sus contrapartes de dimensión mayor (Pérez-Hernández *et al.*, 2021). Sin embargo, diversos estudios reportan que el uso intensivo y sin regulación de la NTE está comprometiendo la salud y seguridad humana y ambiental (Halamoda-Kenzaoui *et al.*, 2022).



Nanomateriales (NM) como TiO_2 , ZnO , óxidos de hierro, SiO_2 , Al_2O_3 , óxidos de cerio, nanotubos de carbono (NTC), por mencionar algunos, han sido estudiados, para poder ser aplicados y utilizados en el sector agrícola (Neme *et al.*, 2021), con fines como:

- proteger los cultivos (diagnóstico agrícola, nano pesticidas, nanoencapsulación, monitoreo de contaminantes o remediación de suelo y agua, ente otros);
 - manejar cultivos (nanofertilizantes (NF), agricultura de precisión, nanotransportadores, mejoramiento genético, irrigación, etc.);
 - utilizarlos en la postcosecha (empaques de alimentos, nanofibras, recubiertas, entre otras), y,
 - hacer sensores para distintas aplicaciones.
- (López-Valdez y Fernández-Luqueño, 2018).

Algunos NM pueden diseñarse con el objetivo de sintetizar NF usando nutrientes esenciales y elementos benéficos de los cultivos o, incluso, NTC (Chhipa, 2017). Esta aplicación hace que los materiales obtenidos a escala nanométrica cobren mayor importancia en la agricultura. La NTE es la quinta tecnología revolucionaria del siglo pasado, después de la biotecnología, debido a su aplicación en diversas disciplinas y, en el caso de la agricultura, haber modificado las prácticas convencionales para generar metodologías de mayor precisión y eficiencia para el manejo de cultivos y suelos. Un ejemplo es el uso de nanocompositos de caolín natural y espuma de polímero para el control de enfermedades y plagas (Liu *et al.*, 2006), o el uso de nanopartículas (NP) de quitosano en la liberación de moléculas activas para la agricultura (Kashyap *et al.*, 2015).

En el sector ambiental

En esta área, diversos materiales de dimensiones nanométricas como nanocompositos, hierro cerovalente, arcillas de suelo, plata cerovalente o NTC, entre otros, se emplean para remover o degradar contaminantes del suelo, aire y agua (Urdapilleta-Inchaurregui *et al.*, 2020, 2021; Fonseca *et al.*, 2022), donde los metales pesados, fármacos y compuestos orgánicos como colorantes e hidrocarburos son los de mayor interés para ser removidos.

Adicionalmente, los nanotecnólogos colaboran con especialistas del área biológica dando lugar al desarrollo y uso de la nanobiorremediación o de la agronanobiotecnología, en las que claramente convergen las nanociencias y nanotecnologías junto con las ciencias y tecnologías agrícolas y ambientales (Rana *et al.*, 2022; Thangavelu y Veeraragavan, 2022). Además, con el objetivo de evaluar el efecto de los nanomateriales sobre la simbiosis microbiana, el desarrollo de la planta y el índice de remoción, degradación o acumulación de contaminantes, recientemente se han publicado diversos estudios sobre estos temas (Wan *et al.*, 2021).

Principales hallazgos o contribuciones de la nanotecnología en el sector agrícola

- a) Desarrollo de estrategias para garantizar la entrega y reducir las pérdidas de nutrientes móviles, mediante fertilizantes de liberación controlada. Los NF son NM que contienen nutrientes esenciales o elementos benéficos para los cultivos. Estos NF podrían tener o no una cubierta (encapsulando) para incrementar la eficiencia de la fertilización química y mejorar el metabolismo de la planta y la absorción de nutrientes (Being *et al.*, 2020). Los NF reducen significativamente la cantidad de fertilizante aplicado, tanto a través del suelo como del follaje, disminuyendo la liberación de químicos al medio ambiente. Como resultado, las plantas incrementan el rendimiento, se reducen costos y se atenúa la contaminación ambiental por fertilizantes agrícolas.
- b) Formulación de nanopesticidas (NPEST) para poder ofrecer un control y manejo de diferentes plagas y, así, minimizar el uso de productos químicos sintéticos y los riesgos ambientales asociados. Los NPEST pueden transportarse en estados disueltos y coloidales, incrementan la solubilidad de los ingredientes activos y aumentan la movilidad y su degradación a través de los microorganismos que habitan el suelo (Chhipa, 2017). Además, se pueden emplear NP metálicas contra patógenos bacterianos, fúngicos y virales (Usman *et al.*, 2020).
- c) Diseño de nanoherbicidas a partir de materiales orgánicos, inorgánicos o híbridos, con la capacidad para proporcionar un mayor control de malezas. Los nanoherbicidas han demostrado una mejor distribución y adhesión en las hojas, lo cual implica un tiempo de contacto más prolongado en las hojas y mayor eficiencia en el control de malezas (Forini *et al.*, 2022).
- d) Desarrollo de nanosensores (NSEN) para evaluar la salud de la planta y la calidad del suelo en tiempo real, durante la precosecha y postcosecha. Los NSEN pueden detectar una amplia gama de herbicidas, fertilizantes, insecticidas, pesticidas, patógenos, pH, humedad, estrés en las plantas, calidad de agua, entre otros, lo que implica una mejor medición y control de variables bióticas y abióticas (Beegum y Das, 2022).

Sector ambiental y nanotecnologías

El sector ambiental ha sido altamente favorecido por las nanotecnologías, mencionamos, por ejemplo:

- a) La síntesis de NM inteligentes altamente selectivos, con capacidad para modificar su estructura molecular al detectar pequeñas modificaciones de pH, temperatura, luz, campos magnéticos, etc., tiene un alto desempeño en la remoción de contaminantes de suelo, agua y aire (Gadore y Ahmaruzzaman, 2021).

- b) El diseño de NM inspirados en la naturaleza para, por caso, eliminar contaminantes de cuerpos de agua o para autolimpiar superficies de paneles solares o paredes de concreto (Katiyar *et al.*, 2021).
- c) El desarrollo de micro y nanomotores funcionales, reusables y autopropulsados, para sensar y remover contaminantes de agua (Parmar *et al.*, 2018).
- d) La fabricación de nanomembranas y nanocatalizadores para remover y promover procesos de oxidación avanzada que degraden colorantes u otros compuestos orgánicos (Sun, 2019).
- e) El uso combinado y sinérgico de organismos y NM, mediante técnicas de remediación o degradación de contaminantes en suelo, agua y aire.

Escenarios en América Latina

La nanotecnología agrícola y ambiental tiene cientos de aplicaciones para solucionar problemas que aquejan a la sociedad día con día. No obstante, los países de América Latina han participado relativamente poco en estos avances tecnológicos, al compararlos con sus contrapartes de América del Norte, Europa o Asia. Dado lo anterior, es importante destacar que países como México, Chile y Brasil tienen avances nanotecnológicos significativos y han logrado la formación de grupos de especialistas consolidados, a pesar de las limitaciones económicas y de acceso a equipo científico que aqueja a estas naciones.

Por consiguiente, en diversos países de América Latina no se cuenta con tecnologías de avanzada para dilucidar y comprender mejor las interacciones NM-organismo vivo, como aquellas entre NF-cultivo o microorganismo-contaminante. Los métodos convencionales para estudiar el comportamiento *in situ* de los NM en los organismos vivos no permiten obtener suficiente información fisicoquímica de la interacción, ni de las cascadas moleculares que se activan durante la interacción célula-NM. Este tipo de estudios en los que se requiere analizar las interacciones en la interfase nano-bio deben basarse en la radiación de sincrotrón, lo cual es prácticamente imposible de lograr sin la colaboración de grupos de investigadores de países líderes.

Conclusión

En consecuencia y con base en las múltiples aplicaciones potenciales, algunas ya en comercialización, es necesario que el Estado, la industria y la comunidad científica fortalezcan e impulsen la innovación, el equipamiento y la formación de recursos humanos, así como una adecuada inversión en nanotecnología agrícola y ambiental. Asimismo, se deben considerar aspectos de normalización y regulación, tanto como estudios *in silico* e *in vivo* (en laboratorio, invernadero y campo) que valoren y evidencien los efectos nulos, secundarios o tóxicos de los NM sobre los organismos vivos y los ecosistemas.

Queremos agradecer a los autores y autoras por su colaboración en la integración de este número, así como a los dictaminadores y dictaminadoras

quienes, con su valiosa aportación, hacen posible mantener la calidad de la revista. De la misma forma, extendemos nuestro reconocimiento a los editores de *Mundo Nano* por darnos la oportunidad de ser editores invitados, una experiencia muy estimulante.

Fabián Fernández-Luqueño, Ileana Vera-Reyes, Sandra Loera-Serna
Editores invitados

Referencias

- Beig, B., Niazi, M. B. K., Sher, F., Jahan, Z., Malik, U. S., Khan, M. D., Americo-Pinheiro, J. H. P., Vo, D. V. N. (2022). Nanotechnology-based controlled release of sustainable fertilizers. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01409-w>.
- Beegum, S., Das, S. (2022). Nanosensors in agriculture. En Ghosh, S., Thongmee, S., Kumar, A. (eds.), *Agricultural nanobiotechnology*. Elsevier, 465-478. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91908-1.00012-2>.
- Chhipa, H. (2017). Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1): 15-22. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0600-4>.
- Fonseca, R., Araujo, J., Pinho, C., Albuquerque, T. (2022). Evaluating the effectiveness of nanotechnology in environmental remediation of a highly metal-contaminated area-Minas Gerais, Brazil. *Geosciences*, 12(8): art. núm. 287. <https://doi.org/10.3390/geosciences12080287>.
- Forini, M. M., Pontes, M. S., Antunes, D. R., de Lima, P. H., Santos, J. S., Santiago, E. F., Grillo, R. (2022). Nano-enabled weed management in agriculture: from strategic design to enhanced herbicidal activity. *Plant Nano Biology*, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2022.100008>.
- Gadore, V., Ahmaruzzaman, M. (2021). Smart materials for remediation of aqueous environmental contaminants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106486. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106486>.
- Halamoda-Kenzaoui, B., Geertsma, R., Pouw, J., Prina-Mello, A., Carrer, M., Roesslein, M., Sips, A., Weltring, K. M., Spring, K., Bremer-Hoffmann, S. (2022). Future perspectives for advancing regulatory science of nanotechnology-enabled health products. *Drug Delivery and Translational Research*, 12(9): 2145-2156. <https://doi.org/10.1007/s13346-022-01165-y>.
- Kashyap, P. L., Xiang, X., Heiden, P. (2015). Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*, 77: 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.039>.
- Katiyar, N. K., Goel, G., Hawi, S., Goel, S. (2021). Nature-inspired materials: emerging trends and prospects. *NPG Asia Materials*, 13, 56 <https://doi.org/10.1038/s41427-021-00322-y>.
- Liu, X. M., Feng, Z. B., Zhang, F. D., Zhang, S. Q., He, X. S. (2006). Preparation and testing of cementing and coating nano-subnanocomposites of slow/control-

- lled-release fertilizer. *Agricultural Sciences in China*, 5(9): 700-706. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(06\)60113-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(06)60113-2).
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F. (2018). *Agricultural nanobiotechnology, modern agriculture for a sustainable future*. Springer, 218. ISBN 978-3-319-96718-9.
- Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., Tola, Y. B. (2021). Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. *Heliyon*, 7(12), art. núm. e08539. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539>.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Naciones Unidas, Asamblea General. Septuagésimo periodo de sesiones. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf.
- Parmar, J., Vilela, D., Villa, K., Wang, J., Sánchez, S. (2018). Micro- and nanomotors as active environmental microcleaners and sensors. *Journal of the American Chemical Society*, 140(30): 9317-9331. <https://doi.org/10.1021/jacs.8b05762>.
- Pérez-Hernández, H., Pérez-Moreno, A., Sarabia-Castillo, C. R., García-Mayagoitia, S., Medina-Pérez, G., López-Valdez, F., Campos-Montiel, R. G., Jayanta-Kumar, P., Fernández-Luqueño, F. (2021). Ecological drawbacks of nanomaterials produced on an industrial scale: Collateral effect on human and environmental health. *Water Air Soil Pollution*, 232(10): 1-33, art. núm. 435. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05370-2>.
- Rana, R., Ferdous, J., Rahman, M., Rahman, F., Huq, A., Ali, Y., Huda, N., Mukhles, M. B., Rafi, M. H. (2022). Biosynthesis and chemical composition of nanomaterials in agricultural soil bioremediation: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), art. núm. 730. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10315-1>.
- Sun, H. (2019). Grand challenges in environmental nanotechnology. *Frontiers in Nanotechnology*, 1, 2. <https://doi.org/10.3389/fnano.2019.00002>.
- Thangavelu, L., Veeraragavan, G. R. (2022). A survey on nanotechnology-based bioremediation of wastewater. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, art. núm. 5063177. <https://doi.org/10.1155/2022/5063177>.
- Urdapilleta-Inchaurregui, V., Fernández-Luqueño, F., Torres-Huerta, A. M., Roa-Velázquez, D., Rodríguez-Varela, F. J., Sánchez-Castro, M. E. (2020). Nanocomposite synthesis from a natural clay-rich soils and exhausted coffee grounds for environmental applications. *Journal of Nano Research*, 63: 47-63. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JNanoR.63.47>.
- Urdapilleta-Inchaurregui, V., Fernández-Luqueño, F., Torres-Huerta, A. M., Roa-Velázquez, D., Rodríguez-Varela, F. J., Sánchez-Castro, M. E. (2021). Natural soil clays from a phaeozem to synthesize a nanocomposite with exhausted coffee grounds and Ag- and TiO₂-nanoparticles for water, air, or soil decontamination. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1): 871-880. <https://doi.org/10.15244/pjoes/120521>.
- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Ur Rehman, H., ... y Sannaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment*, 721, 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>.

Wan, J., Hu, L., Zhang, C., Chengm M., Xiong, W. P., Zhou, C. Y., (2021). Response of microorganisms to phosphate nanoparticles in Pb polluted sediment: Implications of Pb bioavailability, enzyme activities and bacterial community. *Chemosphere*, 286(1), art. núm. 131643. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131643>.