

# La nanomedicina en México desde el punto de vista de los investigadores

## Nanomedicine in México from the point of view of researchers

Roberto Soto Vázquez<sup>1\*</sup>, Guillermo Foladori<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CINVESTAV - Instituto Politécnico Nacional  
<sup>2</sup>Unidad Académica en Estudios del Desarrollo.  
Universidad Autónoma de Zacatecas

Autor de correspondencia:  
\*roberto.soto@cinvestav.mx

Recibido: 13-02-2023 Aceptado: 24-07-2023 (Artículo Arbitrado)

### Resumen

La nanomedicina es una disciplina de reciente aparición que tiene un enorme potencial para mejorar el diagnóstico y tratamiento de distintas enfermedades como cáncer, diabetes y la enfermedad de Parkinson, entre otras. Sin embargo, para que esto pueda ser una realidad se debe prestar atención a la regulación, riesgos asociados a los nanomateriales y la integración vertical de las nanotecnologías en las cadenas de producción. El objetivo de este trabajo fue recabar el punto de vista de los investigadores sobre dichas cuestiones. La metodología consistió en la realización de entrevistas a investigadores mexicanos en el campo de la nanomedicina. Las entrevistas fueron grabadas con el consentimiento de los participantes y posteriormente se transcribieron a texto con el software Atlas.ti para su análisis. Como resultado, se encontró que los investigadores entrevistados están de acuerdo en la implementación de registros obligatorios sobre empresas nanotecnológicas, el establecimiento de sistemas de etiquetado para productos de nanotecnología y la realización de estudios toxicológicos de los nanomateriales con aplicaciones médicas.

**Palabras clave:** Nanotecnología, medicina, regulación, riesgos de los nanomateriales, nanotoxicología.

### Abstract

Nanomedicine is an emerging discipline with enormous potential to improve the diagnosis and treatment of various diseases such as cancer, diabetes, and Parkinson's disease, among others. However, for this to become a reality, it is necessary to pay attention to regulation, risks associated with nanomaterials, and the integration of nanotechnology processes along the production chains. The objective of this work was to obtain the point of view of researchers on these issues. The methodology consisted of conducting interviews with Mexican researchers in the field of nanomedicine. The interviews were recorded with the consent of the participants and later transcribed into text with the Atlas.ti software. As a result, it was found that the interviewed researchers agree on the implementation of mandatory registries on nanotechnology companies, the establishment of labeling systems for nanotechnology products and the conduct of toxicological studies of nanomaterials with medical applications.

**Keywords:** Nanotechnology, medicine, regulation, risks of nanomaterials, nanotoxicology.

### Introducción

La manipulación de la materia a nivel nanométrico está teniendo una incidencia cada vez mayor en el sector salud, dando lugar a un nuevo campo de estudio conocido como nanomedicina. A través de nanoestructuras tales como liposomas, dendrímeros y nanopartículas se pueden enviar moléculas de medicamentos a células, órganos y tejidos del cuerpo humano para tratar diversas enfermedades. Estas nanoestructuras, al ser de tamaño muy reducido, tienen

mayor facilidad para atravesar barreras biológicas y dirigirse hacia los lugares de acción deseados con mayor precisión (Hehenberger, 2016), lo que está abriendo nuevas posibilidades para el desarrollo de tratamientos más eficaces contra el cáncer (Bhatia et al., 2022), la diabetes (Lemmerman et al., 2020) y la enfermedad de Parkinson (Martinez-Fong et al., 2012), por mencionar algunas de sus potenciales aplicaciones.

Otras aplicaciones de la nanomedicina son el desarrollo de agentes de contraste a base de nanopartículas para imagenología médica (Luo et al., 2021), nanosensores para el diagnóstico de diversas enfermedades (Arndt et al., 2020), implantes ortopédicos mejorados con nanorrecubrimientos (Wang et al., 2021), nanobiomateriales para la regeneración de tejidos (Kapat et al., 2020) y, más recientemente, vacunas con componentes nanoestructurados para COVID-19 (Guerrini et al., 2022) y la tecnología de edición genética (CRISPR) (Trafton, 2017).

Si bien la nanomedicina ha tenido importantes avances desde el punto de vista científico, también es necesario prestar atención a la regulación interna e internacional, la vinculación de la investigación con instituciones públicas y empresas y riesgos asociados a los nanomateriales, ya que estos son factores decisivos para que la nanomedicina se pueda materializar en productos y soluciones sin generar resultados adversos a la salud o los ecosistemas.

En el presente artículo se exponen los resultados de una serie de entrevistas que se realizaron a investigadores para conocer su opinión sobre la regulación, relación con empresas y riesgos en el área de nanomedicina, entre otros temas. Estas entrevistas amplían y complementan otras realizadas en línea y sistematizadas en Ortiz-Espinoza et al. (2022).

## Metodología

Se contactó por correo electrónico a 29 investigadores mexicanos del campo de la nanomedicina para invitarlos a participar en las entrevistas y seis de ellos aceptaron. Algunas entrevistas se realizaron de forma presencial y otras por videoconferencia, según la disponibilidad y preferencia de los participantes. Las entrevistas se basaron en un guión de preguntas que abarcaron los siguientes rubros: a) datos generales del investigador, b) regulación de las nanotecnologías, c) producción y empresas, y d) riesgos de los nanomateriales. Todas las entrevistas fueron grabadas con la previa autorización de los entrevistados y, posteriormente, las grabaciones se transcribieron a texto utilizando el software Atlas.ti.

## Resultados y discusión

Los investigadores entrevistados están adscritos a distintas instituciones de educación superior y centros de investigación del país: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Centro de Investigación

en Química Aplicada (CIQA) e Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Todos los entrevistados trabajan en las áreas de biofarmia y diagnóstico. De manera específica, las líneas de investigación de los entrevistados comprenden la liberación de fármacos mediada por nanoestructuras, así como el diagnóstico de enfermedades como cáncer y tuberculosis a través de técnicas basadas en nanotecnología. La mitad de los entrevistados señaló que en sus investigaciones combinan ciencia básica y aplicada. En cuanto al financiamiento de sus proyectos la mayoría de los entrevistados obtienen recursos del CONAH-CYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología), aunque también recurren a otras fuentes de financiamiento tales como los apoyos internos que les otorgan sus instituciones y recursos otorgados por organismos internacionales.

## Regulación

A nivel internacional se han tomado algunas medidas encaminadas a la regulación de las nanotecnologías, por ejemplo, la implementación de registros obligatorios para empresas que fabrican, importan y distribuyen sustancias nanoparticuladas en Francia o Bélgica (ChemSafetyPro, 2016), el etiquetado de algunos productos que contienen nanomateriales en la Unión Europea (Gruère, 2011) y la prohibición de ciertos nanomateriales en determinados productos en los Estados Unidos o la Unión Europea (Larsen, 2014). Para un resumen de las principales regulaciones a nivel internacional hasta 2020 puede verse Folladori (2021). En este sentido, se le preguntó a los entrevistados si estarían de acuerdo en que se aplicaran medidas semejantes en México. Todos coincidieron en que México debería tener un registro de empresas nano y un sistema de etiquetado para este tipo de productos, argumentando que aún hay huecos de investigación en torno a los riesgos de los nanomateriales; por lo que si un producto ha sido desarrollado con nanotecnología el consumidor tiene derecho a saberlo. Respecto a las medidas de prohibición de ciertos nanomateriales, la mayoría de los entrevistados también las respaldan, debido a los posibles efectos toxicológicos que podrían tener dichos materiales; no obstante, una de las investigadoras entrevistadas señaló que estas medidas prohibitivas no se deben generalizar a todos los nanomateriales y que se debe estudiar caso por caso. En este último sen-

tido es conveniente anotar que desde principios de este siglo han habido reclamaciones para separar en términos reglamentarios lo correspondiente a investigación de producción comercial de materiales, como el temprano llamado a una moratoria de la comercialización de productos no comprobadamente seguros (ETC group, 2002).

### Producción y empresas

En este rubro se les preguntó a los investigadores sobre los nanomateriales y equipos utilizados, así como la relación con empresas de nanomateriales.

Las principales materias primas que utilizan los investigadores son metales, aleaciones, polímeros y dendrímeros; y la mayor parte de estas sustancias son de compra internacional. Otro aspecto importante en el trabajo científico es el equipo técnico requerido. A este respecto, los entrevistados señalaron que los aparatos de mayor valor con los que cuentan en sus laboratorios son los dispersores de luz dinámica, microscopios electrónicos de barrido y equipo de imagen preclínica multimodal. Todos estos equipos son de marcas extranjeras (Bruker, Mettler Toledo, Malvern Panalytical, PerkinElmer y AntonPaar) y algunos de ellos requieren de mantenimiento con personal que viene del extranjero. Tanto la materia prima como los equipos técnicos muestran la dependencia que tiene México con otros países al momento de realizar investigación en nanomedicina, y, claro está, en otras áreas de las nanotecnologías.

En cuanto a las colaboraciones con empresas, estas son muy escasas; solo uno de los entrevistados declaró tener este tipo de colaboración. La dependencia en investigación y desarrollo (I+D) de financiamientos públicos es una constante en América Latina, a diferencia de Europa donde buena parte de la I+D proviene de financiamiento de empresas privadas (Bortagaray, 2016).

### Riesgos de los nanomateriales

El uso de nanomateriales en medicina requiere considerar el riesgo toxicológico para la salud humana y ecosistémica, ya que algunas nanoestructuras o nanopartículas pueden producir alteraciones biológicas perjudiciales (Wu et al., 2020). Con relación a esto, se les preguntó a los entrevistados si en las instituciones donde ellos trabajan se llevan a cabo proyectos de investigación relativos a la potencial toxicidad de los nanomateriales. Algunos investigadores respon-

dieron que ellos mismos hacen este tipo de estudios con los nanomateriales que utilizan y otros refirieron que sus instituciones cuentan con departamentos específicos de nanotoxicología. En este sentido, uno de los entrevistados comentó que, desafortunadamente, la nanotoxicología ha sido un área descuidada en la investigación, ya que se suele prestar mayor atención a las bondades de la nanotecnología, pero se estudia poco su parte perjudicial. En otras investigaciones del Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera No. 304320 ([www.relans.org](http://www.relans.org)) se notó que no hay una política para los financiamientos a la investigación en nanotecnología que requiera que una parte del aporte para cada proyecto sea destinado a sistematizar o analizar los riesgos toxicológicos de los materiales manipulados y/o en su destino final (Foladori, 2022).

### Conclusiones

La nanomedicina parece tener un futuro promisorio; sin embargo, es necesario abordar su regulación, la vinculación con empresas y los riesgos a la salud y el ambiente de los nanomateriales. En cuanto a regulación, la mayoría de los entrevistados coincidieron en que México debe implementar registros obligatorios de empresas y un sistema de etiquetado de productos nanotecnológicos. Respecto a la colaboración de los entrevistados con empresas, esta es casi inexistente. Sería deseable fomentar relaciones más fuertes entre la academia y la industria. Esto, por un lado, ayudaría a que los resultados de las investigaciones lleguen a los pacientes a través de productos nanomédicos generados por las empresas y, por otro lado, atraería financiamiento privado a las actividades de investigación, algo necesario ante la reducción del financiamiento público, según lo referido por algunos entrevistados. Las preguntas relativas al origen de la materia prima y la tecnología utilizada, que es mayoritariamente importada, son otro indicador de las dificultades prácticas para un desarrollo nacional de las nanotecnologías en México. Finalmente, en lo referente a riesgos de los nanomateriales, si bien algunos investigadores declararon que se lleva a cabo este tipo de investigación en sus instituciones, es necesario fortalecer la enseñanza y el estudio de la nanotoxicología para garantizar la seguridad de los desarrollos nanomédicos.

Una dificultad que se tuvo en la realización de este trabajo fue el número reducido de investigado-

res que aceptaron ser entrevistados; no obstante, estas entrevistas complementan a otras realizadas previamente (Ortiz-Espinoza et al., 2022). En futuros trabajos se ampliará la muestra de investigadores y se incluirán otros temas en las entrevistas tales como el patentamiento, transferencia tecnológica y desafíos de I+D en nanomedicina.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHCYT por el apoyo brindado a través del Proyecto Ciencia de Frontera 2019 No. 304320 “Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades nacionales”.

## Referencias

- Arndt, N., Tran, H. D. N., Zhang, R., Xu, Z. P., & Ta, H. T. (2020). Different Approaches to Develop Nanosensors for Diagnosis of Diseases. *Advanced Science*, 7(24), 2001476. doi.org/10.1002/advs.202001476
- Bhatia, S. N., Chen, X., Dobrovolskaia, M. A., & Lammers, T. (2022). Cancer nanomedicine. *Nature Reviews Cancer*, 22(10), Art. 10. doi.org/10.1038/s41568-022-00496-9
- Bortagaray, I. (2016). *Políticas de ciencia, tecnología, e innovación sustentable e inclusiva en América Latina* (UNESCO, Ed.). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246444>
- ChemSafetyPro. (2016). *Regulations on Nanomaterials in EU and Nano Register 2016*. [https://www.chemsafetypro.com/Topics/EU/Regulations\\_on\\_Nanomaterials\\_in\\_EU\\_and\\_Nano\\_Register.html](https://www.chemsafetypro.com/Topics/EU/Regulations_on_Nanomaterials_in_EU_and_Nano_Register.html).
- ETC group. (2002). *No Small Matter! ¡No es poca cosa!* <http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/191/01/nanocommunique76.pdf>
- Foladori, G. (2021). La regulación de las nanotecnologías. En J. Díaz Marcos, J. Mendoza González, R. Ponce Singüeza, & M. Casado (Eds.), *Libro blanco de las nanotecnologías. Una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología*, (1a ed., pp. 197–215). Aranzadi Thomson Reuters, Pamplona.
- Foladori, G. (2022). *Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México*. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Gruère, G. P. (2011). Labeling nano-enabled consumer products. *Nano Today*, 6(2), 117–121. doi.org/10.1016/j.nantod.2011.02.005
- Guerrini, G., Magni, D., Gioria, S., Medagliani, D., & Calzolari, L. (2022). Characterization of nanoparticles-based vaccines for COVID-19. *Nature Nanotechnology*, 17(6), Art. 6. doi.org/10.1038/s41565-022-01129-w
- Hehenberger, M. (2016). *Nanomedicine: Science, Business, and Impact*. Taylor & Francis Group. <https://www.routledge.com/Nanomedicine-Science-Business-and-Impact/Hehenberger/p/book/9789814613767>
- Kapat, K., Shubhra, Q. T. H., Zhou, M., & Leeuwenburgh, S. (2020). Piezoelectric Nano-Biomaterials for Biomedicine and Tissue Regeneration. *Advanced Functional Materials*, 30(44), 1909045. doi.org/10.1002/adfm.201909045
- Larsen, L. (2014, abril 2). EPA Bans Nano Silver in Food Containers. *Food Poisoning Bulletin*. <https://foodpoisoningbulletin.com/2014/epa-bans-nano-silver-in-food-containers/>
- Lemmerman, L. R., Das, D., Higuera-Castro, N., Mirmira, R. G., & Gallego-Perez, D. (2020). Nanomedicine-Based Strategies for Diabetes: Diagnostics, Monitoring, and Treatment. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 31(6), 448–458. doi.org/10.1016/j.tem.2020.02.001
- Luo, D., Wang, X., Burda, C., & Basilion, J. P. (2021). Recent Development of Gold Nanoparticles as Contrast Agents for Cancer Diagnosis. *Cancers*, 13(8), Art. 8. doi.org/10.3390/cancers13081825
- Martinez-Fong, D., Bannon, M. J., Trudeau, L.-E., Gonzalez-Barrios, J. A., Arango-Rodriguez, M. L., Hernandez-Chan, N. G., Reyes-Corona, D., Armendáriz-Borunda, J., & Navarro-Quiroga, I. (2012). NTS-Polyplex: A potential nanocarrier for neurotrophic therapy of Parkinson's disease. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 8(7), 1052–1069. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2012.02.009>
- Ortiz-Espinoza, Á., Foladori, G., & Bracamonte Arámburo, E. (2022). Elementos críticos sobre las nanotecnologías en México. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 11(31), 74–95. <https://doi.org/10.31644/IMASD.31.2022.a04>
- Trafton, A. (2017, noviembre 13). *CRISPR-carrying nanoparticles edit the genome*. MIT News. <https://news.mit.edu/2017/crispr-carrying-nanoparticles-edit-genome-1113>
- Wang, G., Zhu, Y., Zan, X., & Li, M. (2021). Endowing Orthopedic Implants' Antibacterial, Antioxidation, and Osteogenesis Properties Through a Composite Coating of Nano-Hydroxyapatite, Tannic Acid, and Lysozyme. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2021.718255>
- Wu, L.-P., Wang, D., & Li, Z. (2020). Grand challenges in nanomedicine. *Materials Science and Engineering: C*, 106, 110302. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110302>