

Presentación

Avances en el estudio toxicológico de los nanomateriales

Parte II. SINANOTOX: origen, evolución y proyección de una red nacional en nanotoxicología

En las últimas dos décadas el desarrollo acelerado de las nanotecnologías ha transformado múltiples áreas del conocimiento y la innovación, con aplicaciones en la medicina, la electrónica, la energía, la agricultura y el diseño de materiales avanzados. Este crecimiento evidencia la necesidad de comprender a profundidad los posibles efectos de los nanomateriales en la salud humana y el medio ambiente. Así, la nanotoxicología emerge como un campo estratégico de conocimiento para impulsar el desarrollo científico responsable, seguro y sustentable.

Bajo esa premisa, el presente número de *Mundo Nano* reúne contribuciones enfocadas en la evaluación nanotoxicológica de nanomateriales que reflejan tanto el estado actual del conocimiento como los desafíos emergentes en la evaluación nanotoxicológica, desde una perspectiva nacional con proyección internacional. Y, particularmente, reconoce la trayectoria del Sistema Nacional de Evaluación Toxicológica de Nanomateriales (SINANOTOX), el cual ha contribuido durante una década a articular capacidades científicas en México en torno a la nanoseguridad. Más que una revisión exhaustiva, en este texto se busca recuperar, desde una perspectiva narrativa, algunos de los momentos y procesos que han acompañado la evolución de esta red nacional.

De este modo, es fundamental reconocer al SINANOTOX como una iniciativa que surge como proyecto emblemático de la Red de Nanociencias y Nanotecnología del entonces CONACyT. A partir de este impulso inicial, se configuró una plataforma colaborativa orientada a la evaluación integral de nanomateriales, en respuesta a la creciente necesidad de comprender las implicaciones de estas tecnologías emergentes.

Hace una década, en un contexto marcado por el crecimiento acelerado de las nanotecnologías, así como por la falta de claridad en los marcos para su evaluación y regulación, surgió una inquietud compartida entre distintos sectores: academia, industria y sector público, para comprender los posibles efectos de los nanomateriales y anticipar sus implicaciones para la salud y el ambiente.

En México, si bien existen Normas Mexicanas en materia de nanotecnología, estas son de carácter voluntario, lo cual ha limitado la consolidación de un esquema regulatorio más ordenado y sistemático. En este escenario y en el marco de la Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnología-CONACyT,



emergió, en 2015, una iniciativa impulsada por un grupo de investigadoras e investigadores interesados en construir capacidades nacionales para la evaluación toxicológica de materiales nanoestructurados así como el impacto del uso de los nanomateriales en el corto, mediano y largo plazo.

Este esfuerzo derivó en la conformación de un convenio de colaboración multistitucional que dio origen al SINANOTOX, concebido como una marco de referencia nacional para evaluar la inocuidad de los nanomateriales en la salud y el ambiente (Chávez-Hernández *et al.*, 2024).

La construcción de SINANOTOX no fue un proceso lineal ni exento de desafíos. Desde sus inicios, implicó articular visiones provenientes de distintos sectores —académico, industrial y gubernamental— cada uno con sus lenguajes, prioridades y marcos conceptuales diversos. Sin embargo, fue precisamente en esa diversidad en donde se gestó su fortaleza: la posibilidad de construir un enfoque integrador para la evaluación nanotoxicológica en México. Las primeras acciones del SINANOTOX se centraron en identificar capacidades existentes en el país, incluyendo modelos experimentales, infraestructura disponible y redes de colaboración, permitiendo delinear una base operativa para la evaluación de nanomateriales desde múltiples abordajes y aproximaciones biológicas, favoreciendo, además, la construcción de vínculos entre grupos de investigación previamente dispersos.

El SINANOTOX se ha establecido como una iniciativa multistitucional orientada a la evaluación integral de nanomateriales y su impacto en la salud y el medio ambiente, articulando capacidades científicas a nivel nacional y promoviendo estrategias colaborativas en el área de la nanotoxicológica. Actualmente, integra una red de laboratorios pertenecientes a diversas instituciones de educación superior y centros de investigación, conformada por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), la Universidad de Guanajuato (UG), el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) y el Centro Nacional de Metrología (CENAM). En conjunto, estas instituciones han contribuido al desarrollo de protocolos, metodologías y directrices orientadas a la evaluación y uso seguro de los nanomateriales.

En este contexto, SINANOTOX tiene como misión identificar y evaluar los riesgos asociados con el desarrollo y uso de nanomateriales, considerando aspectos relacionados con la caracterización fisicoquímica de los nanomateriales, la evaluación de la exposición y del riesgo, así como su manejo y comunicación. La información generada a partir de este enfoque ha permitido sustentar la toma de decisiones en el diseño de productos basados en nanotecnología, promover su uso responsable, fortalecer la formación académica y ampliar las redes de colaboración interinstitucional, con impacto tanto a nivel nacional como internacional.

A lo largo de estos diez años, SINANOTOX ha evolucionado desde una iniciativa emergente hasta una red académica consolidada, cuyo impacto se refleja en la generación de conocimiento científico, la formación de recursos humanos especializados y la construcción de espacios de diálogo interdisciplinario. En este proceso, la vinculación internacional ha sido un componente clave para la consolidación estratégica del SINANOTOX. En particular, la firma de un *Memorandum of Understanding* con el EU Nanosafety Cluster, un acuerdo que fortaleció la colaboración entre Europa y México en materia de nanoseguridad. A partir de esta alianza, se promovió el establecimiento de vínculos más estrechos entre las comunidades científicas de ambas regiones, con el objetivo de integrar el conocimiento generado en los procesos de evaluación y gestión del riesgo, así como en la formulación de políticas públicas en nanotecnología. Entre las iniciativas impulsadas por esta colaboración, destacan la participación de miembros del EU Nanosafety Cluster en comités asesores internacionales de SINANOTOX, la incorporación de investigadores mexicanos en grupos de trabajo y actividades del consorcio europeo, así como el fortalecimiento de la movilidad académica mediante el intercambio de estudiantes y profesores (<https://nsc-community.eu/workshop-in-nanosafety-mexico-european-union/>).

Asimismo, la organización del Primer y Segundo Simposio Nacional de Investigación e Innovación en Nanociencias ha representado un eje articulador fundamental para consolidar esta comunidad científica. El primer simposio fue concebido como un espacio de reflexión y diálogo abierto entre la academia, la industria y la sociedad, orientado a analizar el estado actual de las nanotecnologías en México y sus posibles implicaciones sociales, ambientales y regulatorias. En este contexto, se promovió una discusión crítica sobre los beneficios y riesgos asociados con el desarrollo y aplicación de los nanomateriales, destacando la necesidad de no limitar la conversación a sus ventajas potenciales, sino de incorporar de manera activa la evaluación de sus posibles efectos en la salud y el ambiente. Este ejercicio se alineó con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces), sentando las bases para una agenda científica con responsabilidad social. (<http://www.fc.uaslp.mx/symposiumnanociencias/2024/index.html#:~:text=Estas%20tecnologías%20plantean%20tanto%20beneficios,de%20todos%20los%20sectores%20sociales>).

Por su parte, la segunda edición de este Simposio Nacional, de carácter internacional, marcó una evolución hacia la exploración de nuevas fronteras y de aplicaciones traslacionales de las nanotecnologías en un contexto global y multidisciplinario. Este encuentro fortaleció el diálogo entre actores nacionales e internacionales, destacando la importancia de la colaboración interinstitucional, la armonización de metodologías, el intercambio de conocimiento y capacidades científicas, así como la formación de recursos humanos altamente especializados. En el marco del décimo aniversario del SINANOTOX, este foro permitió también reflexionar sobre los avances y retos en

materia de regulación y evaluación de nanomateriales en México, subrayando la necesidad de articular el conocimiento desde la síntesis hasta la disposición final de los materiales, y reafirmando el compromiso con una ciencia crítica, ética y sustentable (<http://www.fc.uaslp.mx/simposiumnanociencias/organizacion.html>)

En conjunto, este tipo de acciones han permitido fomentar la colaboración directa entre grupos de investigación mexicanos y europeos, promoviendo su participación conjunta en proyectos internacionales, el desarrollo y armonización de protocolos y procedimientos estandarizados, así como la organización de talleres especializados en análisis y manejo de datos. Asimismo, dichas acciones han contribuido a consolidar la proyección global de SINANOTOX, posicionándolo como un actor emergente en la construcción de agendas internacionales en nanoseguridad y evaluación nanotoxicológica.

En este escenario de crecimiento y articulación científica, la consolidación de dos números especiales dedicados al tema de la nanotoxicología y a SINANOTOX en la revista *Mundo Nano* representa un logro significativo de los alcances de esta iniciativa. Las presentes ediciones no solo documentan avances científicos relevantes, sino reflejan también la madurez de una red que ha evolucionado hacia una plataforma de colaboración con impacto nacional e internacional, orientada a la visibilización del trabajo colectivo en torno a la evaluación de nanomateriales, y sus implicaciones para la salud, el ambiente y la sostenibilidad.

A una década de su creación, SINANOTOX representa más que una red académica: constituye un ejemplo de articulación científica orientada a fortalecer sus esfuerzos en un campo complejo, dinámico y estratégico mediante sus aportes científicos. Su trayectoria evidencia que, ante tecnologías emergentes, la construcción de redes colaborativas es fundamental para generar conocimiento crítico, orientar la toma de decisiones y avanzar hacia un desarrollo científico responsable.

Si bien los avances alcanzados son relevantes, aún persisten importantes retos por enfrentar para consolidar marcos regulatorios robustos y políticas públicas que permitan un desarrollo ordenado, seguro y sustentable de las nanotecnologías. En este sentido, resulta fundamental continuar fortaleciendo la generación de conocimiento científico que apoye la toma de decisiones y contribuya a la protección de la salud de la población y al cuidado del medio ambiente.

Finalmente, agradecemos a las y los autores, revisores y a los editores por su valiosa contribución en la consolidación de este número, el cual representa un esfuerzo colectivo para impulsar, desde la ciencia, información clave que contribuya a la construcción y fortalecimiento de estrategias de evaluación, marcos regulatorios y uso responsable de estos materiales emergentes.

María del Carmen González Castillo, Karla Oyuky Juárez Moreno
Editoras invitadas

Referencias y enlaces

- Chávez-Hernández, Jorge Antonio, Aída Jimena Velarde-Salcedo, Gabriela Navarro-Tovar y Carmen González. (2024). Safe nanomaterials: from their use, application, and disposal to regulations. *Nanoscale Advances*, 6(6): 1583-1610. <https://doi.org/10.1039/D3NA01097J>.
- NSC- Community. EU. S.f. <https://nsc-community.eu/workshop-in-nanosafety-mexico-european-union/>. (Consultado el 27 de mayo de 2026).
- Primer Simposium Nacional de Investigación e Innovación en Nanociencias. <http://www.fc.uaslp.mx/simposiumnanociencias/2024/index.html#:~:text=Estas%20tecnologías%20plantan%20tanto%20beneficios,de%20todos%20los%20sectores%20sociales>. (Consultado el 27 de mayo de 2026).
- Segundo Simposium Nacional de Investigación e Innovación en Nanociencias y Primero Internacional. <http://www.fc.uaslp.mx/simposiumnanociencias/organizacion.html> (Consultado el 27 de mayo de 2026).