

Una revisión crítica del desarrollo
de las nanotecnologías
en México

Guillermo Foladori
Coordinador

Una revisión crítica
del desarrollo de las nanotecnologías en México

Una revisión crítica
del desarrollo de las nanotecnologías en México

Guillermo Foladori
Coordinador



México, 2022

Coordinación

Georgia Aralú González Pérez

Edición

Jonatán Aarón Piña García

Israel David Piña García

Cuidado de la edición

Selene Carrillo Carlos

Aldo López Valle

Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera 2019 No. 304320

Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México

Primera edición, 2022

© Guillermo Foladori

© Universidad Autónoma de Zacatecas

«Francisco García Salinas»

ISBN 978-607-555-136-4

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente
reflejan la postura de los editores de la publicación.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, incluido
el diseño tipográfico y de portada, por cualquier medio electrónico o mecánico,
sin la autorización por escrito de los editores.

Hecho en México

Made in Mexico

Equipo de investigación

Armida C. García	Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, UAZ
Claudia Lucía Esparza-Vela	Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, UAZ
Edgar Arteaga-Figueroa	Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, UAZ
Edgar Záyago-Lau	Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, UAZ
Eduardo Robles-Belmont	Instituto de Matemáticas Aplicadas y Sistemas, UNAM
Ericka Y. Bracamonte-Arámburo	División Ciencias Biológicas y de la Salud, UNISON
Guillermo Foladori	Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, UAZ
Laura Liliana Villa-Vázquez	Unidad Académica en Economía, UAZ
Ma. de los Ángeles Ortiz-Espinoza	Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, UAZ
Mariana Ramírez-Herrera	Unidad Académica en Salud, UAZ
Juan Manuel Mimiaga-Morales	Centro de Investigación y Docencia Económica A.C.
Miguel García-Guerrero	Museo de Ciencias, UAZ
Mónica Anzaldo-Montoya	El Colegio de San Luis
Roberto Soto-Vázquez	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Unidad Zacatenco, IPN
Ruth Robles-Berumen	Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, UAZ
Sein León-Silva	Nueva Generación Manufacturas S.A. de C.V.

Contenido

Presentación	11
Primera sección. Antecedentes y contexto	15
Nanotecnología y nanomateriales	16
Las nanotecnologías entrada la segunda década del siglo XXI	19
Reflexión final de la primera sección	25
Segunda sección. Avances y resultados	29
Presencia de las nanotecnologías en México	29
Investigación y desarrollo	29
Producción	51
Políticas públicas	55
Gobernanza y regulación	55
El Principio de Precaución	65
Las nanotecnologías en el contexto de las nuevas tecnologías (IoT, Big data, IA, etcétera)	67
Riesgos de los nanomateriales	72
Nanomedicina	79
Agricultura y alimentación	98
Reflexión final de la segunda sección	112
Referencias	117
Anexo. Reflexiones sobre el resumen ejecutivo del anteproyecto de la Ley General en Materia de HCTI de Conacyt	123
Índices de documentos por formato	131

Presentación

El siguiente texto contiene materiales resultado de investigaciones correspondientes al proyecto de Conacyt-Ciencia de Frontera 2019 No. 304320 *Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socio-económicas nacionales*, con sede en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) en México. Aquí se reúnen artículos y capítulos de libro, boletines de divulgación, y bases de datos para investigadores e interesados. El propósito de este material es presentar aspectos críticos y de importancia social en el desarrollo de las nanotecnologías en México.

El volumen está dividido en dos secciones con varios apartados cada una. La primera sección se refiere a las características generales del proyecto y al contexto en que se desarrollan las nanotecnologías. Está subdividida en tres apartados. El primero señala la relación entre el proyecto y los lineamientos de política de Ciencia y Tecnología expresados en documentos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). El segundo apartado es una breve caracterización de las nanotecnologías. El tercer apartado hace referencia a los cambios en el contexto técnico-económico en que se desarrollan las nanotecnologías a partir de la segunda década del siglo XXI.

La segunda sección está dedicada a las áreas en que el proyecto ha avanzado y sus productos. Esta sección incluye siete subapartados en el siguiente orden: Presencia de las nanotecnologías en México, Gobernanza y regulación, el Principio de Precaución, las nanotecnologías en el contexto de nuevas tecnologías, Riesgos de los nanomateriales, Nanomedicina, y Agricultura y alimentación.

Cada uno de esos temas lleva una brevísima introducción y comentarios críticos a la luz de los avances; pero, además, introduce los diferentes productos realizados por el equipo del proyecto. Estos productos son variados (divulgación, investigación, bases de datos) y aquí se incluyen los enlaces cuando están en la Web, y materiales completos cuando no publicados o en dictaminación. Los nombrados como Boletines son notas cortas de actualidad que han sido reproducidas en algunas redes sociales de organizaciones ambientalistas no gubernamentales.

El grupo de trabajo se amplió considerablemente alcanzado el segundo año de desarrollo del proyecto debido al interés y participación de estudiantes e investigadores.

Primera sección. Antecedentes y contexto

Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México forma parte de una investigación financiada por el Conacyt de México, que es el órgano rector de la política de ciencia y tecnología del país. El proyecto fue presentado al Fondo Institucional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (Fordecyt-Pronaces) correspondiente al llamado a proyectos Ciencia de Frontera 2019, y aprobado a finales de 2020. El proyecto titulado *Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socioeconómicas nacionales*, tiene la clave No. 304320. Su sede está en la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo (UAED) de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ); y su página web puede visualizarse en el sitio de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (www.relans.org).

El desarrollo del proyecto se inscribe dentro de las propuestas elaboradas por el Conacyt en su Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2024, que se ajusta en sus lineamientos estratégicos al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 de México. Otros documentos del Conacyt detallan los lineamientos estratégicos del Programa Especial, como los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces), y a la fecha (agosto 2022) en discusión el Anteproyecto de iniciativa de Ley General de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación (HCTI).¹ El proyecto desarrolla varias de las propuestas señaladas en los documentos anteriores en relación a las nanotecnologías específicamente.²

Los lineamientos de la política de CyT (Ciencia y Tecnología) de México están emarcados en principios democráticos. El término democracia es muy resbaladizo, pero los elementos a los que se alude no lo son. Muchos de ellos están en leyes de CyT previos y también de otros países de América Latina, pero no todos. En los documentos más recientes de Conacyt se reconoce el acceso a la ciencia como un derecho humano, algo que viene desde la Declaración Universal de Derechos Humanos de Naciones Unidas de 1948, pero no existe en el anterior Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018. Otros derechos que se reproducen de legislaciones anteriores son la libertad de investigación, la libertad de cátedra, de expresión, y la autonomía de las universidades e instituciones de educación superior. Se defiende la equidad de género, étnica, responsabilidad ambiental y otras demandas contemporáneas generalizadas mundialmente.

Los lineamientos también tocan temas más complejos. Se apunta la necesidad de una agenda de investigación tanto en ciencia de frontera como ciencia básica; lo que rompe con el espíritu de las legislaciones neoliberales previas que habían privilegiado la ciencia aplicada. Los llamados asuntos estratégicos o prioritarios llevan el complemento «para el interés público nacional», que puede considerarse una novedad frente a otros programas y legislaciones que dejan abierto el concepto de estratégico o prioritario. Este concepto toma cuerpo en grandes temas señalados en los Pronaces. Se entiende que el concepto

¹ <https://presidente.gob.mx/plan-nacional-de-desarrollo-2019-2024/>; <https://conacyt.mx/conacyt/peciti/>; <https://conacyt.mx/pronaces/>; https://consulta.conacyt.mx/wp-content/uploads/2021/04/5-Resumen_Ejecutivo_del_Anteproyecto.pdf

² Un comentario ampliado de estos lineamientos puede verse en el Anexo B, Reflexiones sobre el resumen ejecutivo del anteproyecto de la Ley General en Materia de HCTI de Conacyt.

de ciencia de frontera busca dialogar con el estado de la ciencia en los países más desarrollados. Otro concepto novedoso es el de cadenas productivas internas, lo que supone un cambio en términos de planificación económica respecto de las políticas neoliberales de total apertura. También es novedoso que el Conacyt haya incluido en sus lineamientos la incorporación de ONG, sindicatos y otras organizaciones sociales a la par del sector empresarial en la vinculación con instituciones de investigación y enseñanza.

Este proyecto apoya este tipo de lineamientos y en lo que sigue se profundizará en diversos temas específicos. Suscintamente, los objetivos contemplan un análisis crítico del desarrollo que han seguido las nanotecnologías en México, que permita señalar tensiones y aspectos importantes de ser incorporados en las políticas de nanotecnología, y potencien sus capacidades.³ Algunos productos del proyecto también se relacionan con este cambio en la política científica y tecnológica aunque aparecen en los capítulos correspondientes a los sectores que tratan, como es el caso del de Anzaldo-Montoya y Hernández-Adame sobre agricultura (Anzaldo Montoya & Hernández-Adame, 2022).

Nanotecnología y nanomateriales

El siglo XXI irrumpe con la profundización y expansión de las *nanotecnologías*, cuyas bases fueron construidas durante las últimas dos décadas del siglo XX (RS&RAE, 2004). El término nanotecnologías engloba tanto al conocimiento y desarrollo científico de los nanomateriales, como sus aplicaciones industriales. Por su parte, el término nanomaterial se refiere a cualquier sustancia química que esté en un tamaño «nano» que, por convención, se considera que tiene al menos una de sus dimensiones de menos de 100 nanómetros,⁴ lo cual sería como cien mil veces mas pequeño que el diámetro de un cabello humano (figura 1).

Figura 1. Imágenes en escala



Fuente: elaboración propia.

³ El proyecto en extenso puede consultarse en www.relans.org

⁴ Un nanómetro es la milmillonésima parte de un metro (10⁻⁹). Para una referencia simple y didáctica a las nanotecnologías puede verse el folleto de divulgación de RELANS/IPEN (Foladori & Invernizzi, 2012).

Cuando los materiales están en esos tamaños pequeñísimos manifiestan propiedades físico-químicas y biológicas excepcionales (e.g. propiedades magnéticas, eléctricas, ópticas, de resistencia, toxicológicas), funciones que no ocurren en tamaño macro. Esto es resultado de que, a medida que se reduce el material aumenta la superficie externa en relación con su masa total, con lo cual las fuerzas cuánticas se presentan permitiendo novedosas funciones. Así, poco volumen de nanomateriales podría sustituir magnitudes mucho mayores del mismo material en tamaño macro en procesos productivos, generando una economía. También materiales en tamaño nano podrían tener funciones tóxicas que un organismo no sufre frente al mismo material en macro tamaño; como decía el célebre Paracelsus «la dosis hace al veneno».

Aunque muchos nanomateriales son producto de las fuerzas naturales, como los derivados del carbón y otros minerales, no son esos los que han provocado el *boom* de las nanotecnologías en este siglo, sino aquellos nanomateriales que son resultado de la manipulación humana. Mediante procedimientos químico-físicos se obtienen nanomateriales para desempeñar funciones específicas en procesos productivos. Estos nanomateriales obtenidos por manipulación artificial son el objeto de las nanotecnologías.

La historia del ser humano está amarrada a la fabricación de instrumentos y la utilización de materiales. Muchos de esos materiales están libres en la naturaleza y han sido paulatinamente descubiertos y explotados productivamente. Otros son combinaciones, o desagregaciones que requieren un proceso físico, químico o biológico para su utilización productiva. Cuando, durante las últimas dos décadas del siglo XX, se inventan instrumentos que permiten ver y manipular los materiales en nanoescala la investigación da un salto cualitativo, al poder explotar sustancias previamente conocidas pero ahora, por razón de su tamaño, con funciones diferentes a las de los mismos materiales en tamaño mayor y en escala industrial. También se descubren nuevos materiales antes desconocidos. Se trata de un mundo nuevo de materiales por explotar y un gran horizonte aún no investigado.

Dado que cualquier sustancia química podría manipularse para obtener un nanomaterial, y todas las industrias utilizan materiales, las nanotecnologías han revolucionado la producción industrial en general, con mayor énfasis en algunos sectores que rápidamente explotaron las propiedades nano de determinados materiales, como el militar, la electrónica o la medicina, pero la mayoría de los sectores económicos ya emplean nanomateriales en sus procesos productivos (Tsuzuki, 2009) (figura 2).

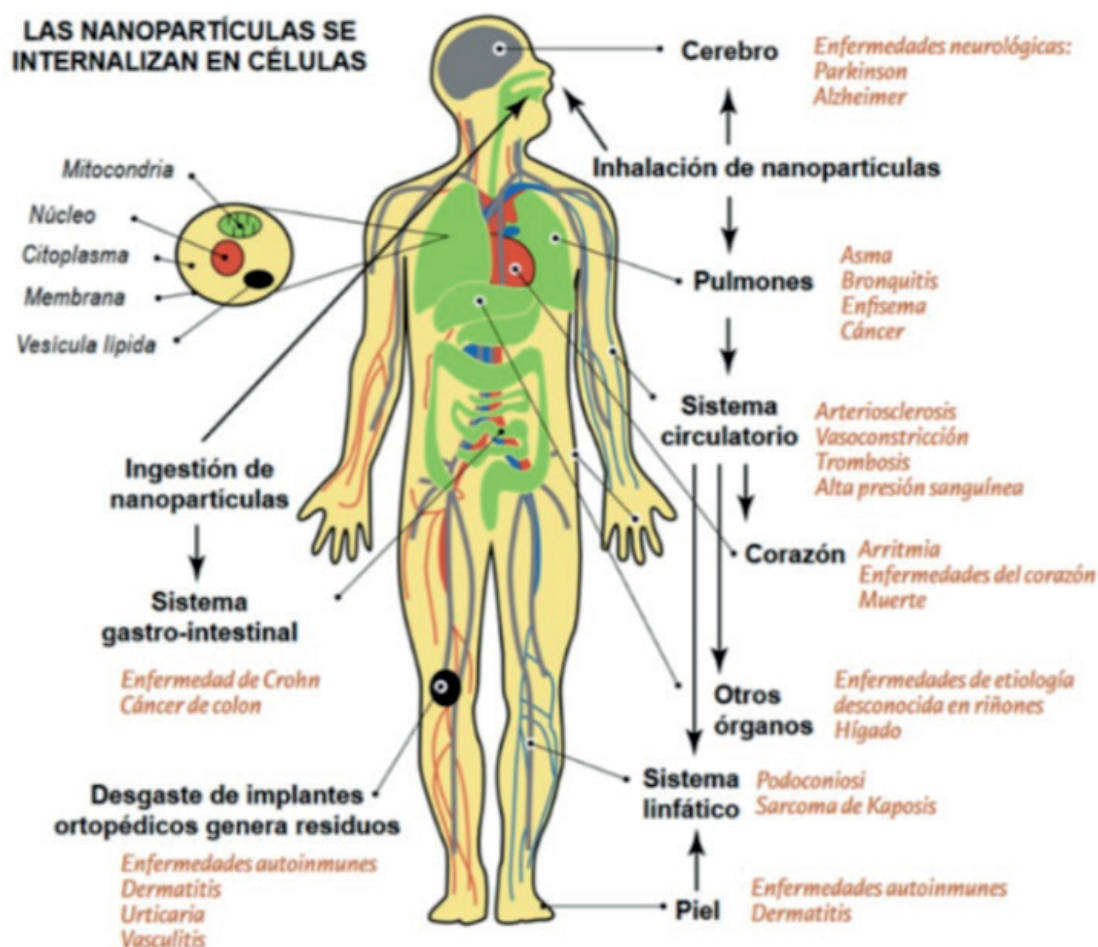
Figura 2. Mercancías de las nanotecnologías



Fuente: Wilson Center, Project on Emerging Nanotechnologies.

Aunque desde el punto de vista empresarial el uso de nanomateriales puede resultar en ganancias económicas, y sus productos ser de mayor eficiencia o beneficio para algunos usuarios, la expansión de las nanotecnologías también conlleva riesgos a la salud, al ambiente, a la estructura del empleo, y a la sociedad en general (Grillo *et al.*, 2018; Oberdörster *et al.*, 2005; Schulte *et al.*, 2008; Tan *et al.*, 2018). No es de sorprender que organizaciones sindicales, ambientales y de derechos humanos hayan reclamado la necesidad de una mayor atención y control a los posibles efectos de estas tecnologías (Invernizzi, 2012; NanoAction, 2007) (figura 3). Este desarrollo contradictorio es resultado de que los productos de las nanotecnologías se incorporan al mercado sin control regulatorio específico, excepto en muy contados casos, con lo cual surgen resultados a la salud, sociales y ambientales incompatibles con las ventajas económicas; y políticamente de difícil conciliación entre los diferentes agentes.

Figura 3. Trayectoria de nanopartículas en el organismo humano



Fuente: traducción propia de Canada, E. and S.D. (2018, January 16). *Engineered nanoparticles: Health and safety considerations* [Recommendations]. <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/services/health-safety/reports/engineered-nanoparticles.html>. Tomado del Infográfico IPEN/RELANS <https://relans.org/wp-content/uploads/Las-Nanotecnologias-04.pdf>

Las nanotecnologías entrada la segunda década del siglo XXI

A finales del año 2000 fue lanzada la Iniciativa Nacional de Nanotecnología en los Estados Unidos. Se trató de una inversión pública fabulosa para promover el desarrollo de estas muy variadas tecnologías. Durante toda la primera década de este siglo el término nanotecnologías se volvió de conocimiento público, porque numerosos países siguieron el camino de Estados Unidos al establecer programas o proyectos de largo alcance para no quedar atrás en una carrera de ciencia y tecnología que parecía ser el motor de desarrollo de las siguientes décadas. Miles o millones de artículos científicos sobre nanotecnología inundaron los bancos de datos y los periódicos y noticias repitieron los avances diarios tanto en la investigación y desarrollo como en la producción y comercialización. La expansión de las nanotecnologías se manifestó en la mayoría de los sectores productivos que pasaron a utilizar materiales en nanoescala en sus insumos explotando sus novedosas funciones (Schultz & Joutz, 2010). La Nano Database, que registra 5 mil 224 productos —07/2022—⁵ identifica que más del 90% de ellos no son esenciales,⁶ y muchos son suntuarios.

El inicio de la segunda década cambió el panorama, al menos en su apariencia general. La presencia del término nanotecnología o nanomaterial disminuyó, y surgieron otros que llenaron la publicidad, como industria 4.0, internet de las cosas, Big data, inteligencia artificial, trabajo y almacenamiento en nube, etcétera. Sin embargo, la mayoría de estos nuevos términos se refieren a tecnologías que incorporan instrumentos o insumos con nanomateriales o nanodispositivos, por lo cual, aunque en la apariencia el desarrollo de las nanotecnologías haya mermado, en esencia se mantiene con vigor bajo nuevos términos en moda (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2021).

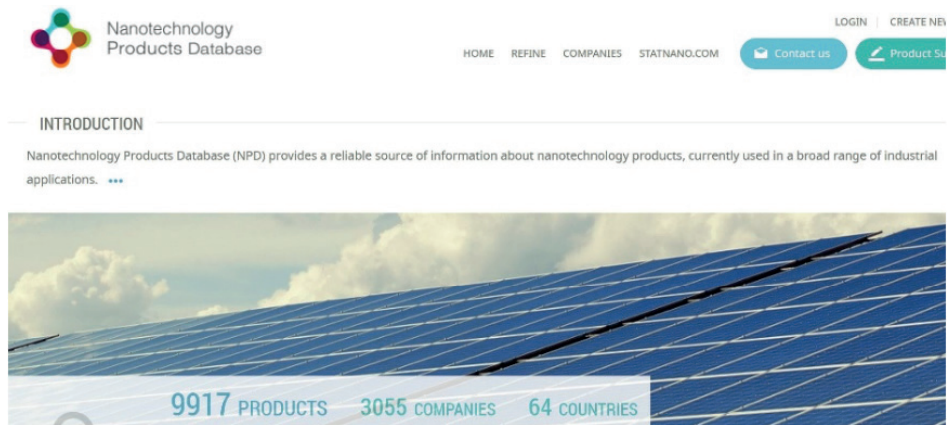
Hacia finales de la segunda década del siglo XXI se encuentran miles de productos en el mercado que son resultado de procesos nanotecnológicos (StatNano, 2018). México no es excepción en la investigación y desarrollo o producción y comercialización. Hay cientos o miles de investigadores en temas de nanotecnología (Robles Belmont, 2021a), más de cien empresas produciendo con nanotecnología (E.R. Arteaga Figueroa, 2022b), apoyos públicos para clusters y centros de investigación (Záyago Lau, 2011), y numerosos cursos universitarios y de posgrado para la enseñanza de las nanotecnologías (Villa & Arteaga Figueroa, 2022).

Un simple ejemplo que permite visualizar la continuidad temporal de los nanomateriales, ahora bajo otras tecnologías, son los dispositivos microelectrónicos. Las nuevas tecnologías utilizan dispositivos electrónicos en micro y ahora nano tamaño. De los Mems (Micro electrical mechanical systems) se ha pasado a los Nems (Nano electrical mechanical systems) (figura 5), y es por ello que la industria electrónica es la que más ha explotado las nuevas funciones de los nanomateriales. La mayoría de las nuevas tecnologías utilizan diversos tipos de sensores (temperatura, humedad, oscilación, luz, sonido, etcétera) que emplean Nems, y nanosensores inteligentes, y requieren de sofisticados nanomateriales conductores y semiconductores.

⁵ Distintas instituciones llevan registro de productos de las nanotecnologías en el mercado con resultados bastante diferentes.

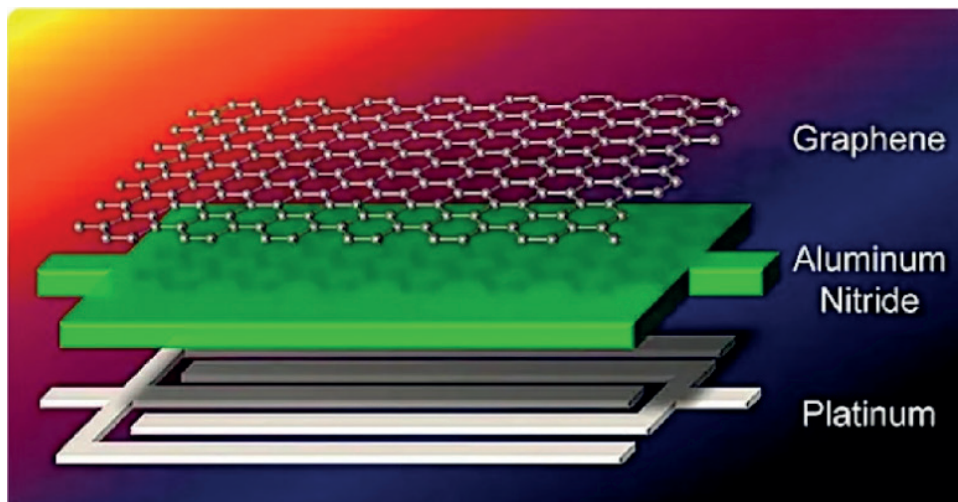
⁶ Actualmente está en discusión el concepto de «esencial», véase, por ejemplo, European Commission (2022).

Figura 4. Nanotecnología: productos, empresas, países



Fuente: StatNano: <https://product.statnano.com/>

Figura 5. Nanomaterial de grafeno en un NanoElectricalMechanical system



Fuente: tomado de Kumar, V. (2021, June 28). *NEMS-NanoElectroMechanical Systems | A Simple Overview*. RankRed. <https://www.rankred.com/nems-nanoelectromechanical-systems/>

Una visión muy general de las nanotecnologías a nivel mundial puede verse en el apretado resumen elaborado por Mónica Anzaldo-Montoya a partir de los datos estadísticos de StatNano.

Bases de datos I

Anzaldo Montoya, M. (2022). Situación global de las nanotecnologías a finales de la segunda década del siglo XXI. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Produccion-Cientifica.pdf>

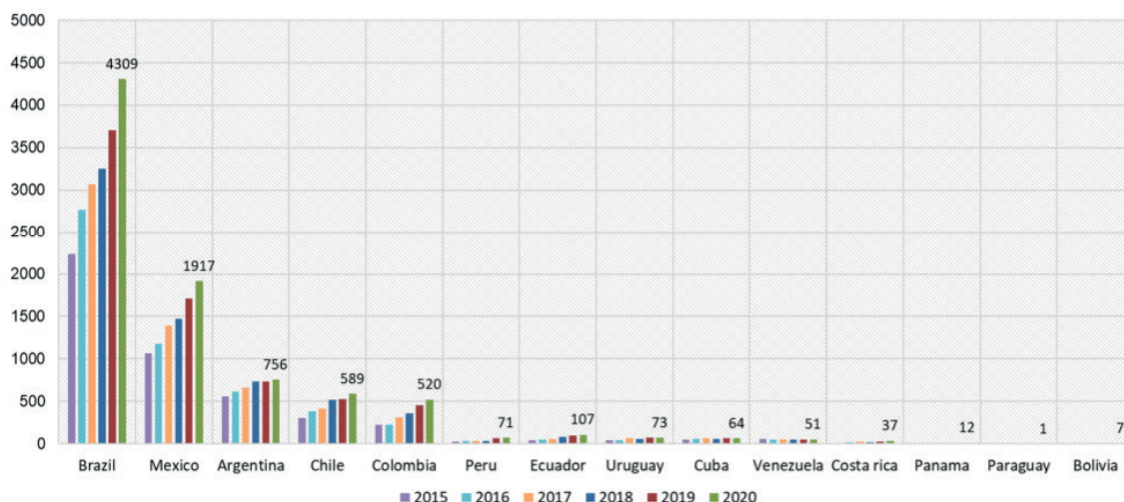
Situación global de las nanotecnologías a finales de la segunda década del siglo XXI (Datos de StatNano)

Mónica Anzaldo Montoya

1. Situación global de las nanotecnologías

En el marco del capitalismo informacional y cognitivo, la ciencia y la tecnología ocupan un lugar central como impulsores de la innovación y fuentes de poder económico y geopolítico. Para los gobiernos nacionales, el destacar en un campo estratégico como las nanotecnologías abona en su presencia y liderazgo económico en el concierto internacional. Un indicador básico para mostrar tal liderazgo es, sin duda, el número de artículos publicados. De acuerdo con datos de la plataforma de información StatNano (agosto de 2021) en 2020 fueron publicados en revistas indexadas en la base de datos Web of Science (WoS) 211 700 artículos en nanociencias y nanotecnología; de ellos alrededor del 40% (85 729) provienen de China, 13% (27 550) de Estados Unidos, 9% (19 182) de la India, seguidos de Irán y Corea del Sur.⁷ En su conjunto, Latinoamérica alcanza el 4% (8 514) de la producción científica, distribuido según se aprecia en la figura 1.

Figura 1. Producción científica en nanotecnologías en América Latina, 2015-2020



Fuente: elaboración propia con datos de Nanotechnology Products Database (consultado en agosto 2021).

⁷ Fuente: <https://statnano.com/report/s29> (consultado en agosto de 2021).

2. Patentes⁸

Con base en los datos recopilados por StatNano a lo largo de 2020, la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO) y la Oficina Europea de Patentes (EPO European Patent Office) recibieron un total de 22 462 y 5 292 patentes de nanotecnología, respectivamente. De las patentes recibidas por la USPTO el 42% fueron otorgadas. En el caso de las patentes registradas por la EPO el 60% fueron concedidas.

Los países industrializados concentran la mayor parte de las solicitudes de patentes. Primero EUA, seguido por Corea del Sur, China, Japón y Taiwán. Estos países registran sus patentes tanto en las oficinas de EUA como Europa, pero es destacable que en los dos últimos años Arabia Saudita, China y Corea del Sur presentan los mayores porcentajes de crecimiento en el registro en la oficina de patentes europea (cuadro 1).⁹

Cuadro 1. Principales países con titularidad de patentes de nanotecnología en los sistemas USPTO y EPO en el año 2020. La posición está ordenada con base a las patentes de la USPTO

<i>Rango</i>	<i>País</i>	<i>USPTO</i>	<i>EPO</i>	<i>USPTO crecimiento entre 2019 y 2020 (%)</i>	<i>EPO crecimiento entre 2019 y 2020 (%)</i>
1	EUA	4913	952	1.57	-1.04
2	Corea del Sur	941	301	1.07	27.54
3	China	736	135	-1.34	31.07
4	Japón	661	279	-6.51	-9.71
5	Taiwán	513	33	1.58	10.00
6	Alemania	310	325	-10.92	-19.95
7	Francia	214	238	-8.15	16.20
8	Arabia Saudita	168	25	-4.55	108.33
9	Reino Unido	154	144	3.36	3.60
10	Canadá	151	38	4.14	-29.63

Fuente: elaboración propia con datos de StatNano, agosto de 2021.

3. Mercado global de las nanotecnologías

Conocer el desempeño comercial de las nanotecnologías es una tarea compleja, incluso para las autoridades gubernamentales, debido a que no hay una regulación internacional que mandate el etiquetado de productos que contienen nanomateriales. No obstante, algunos datos disponibles,

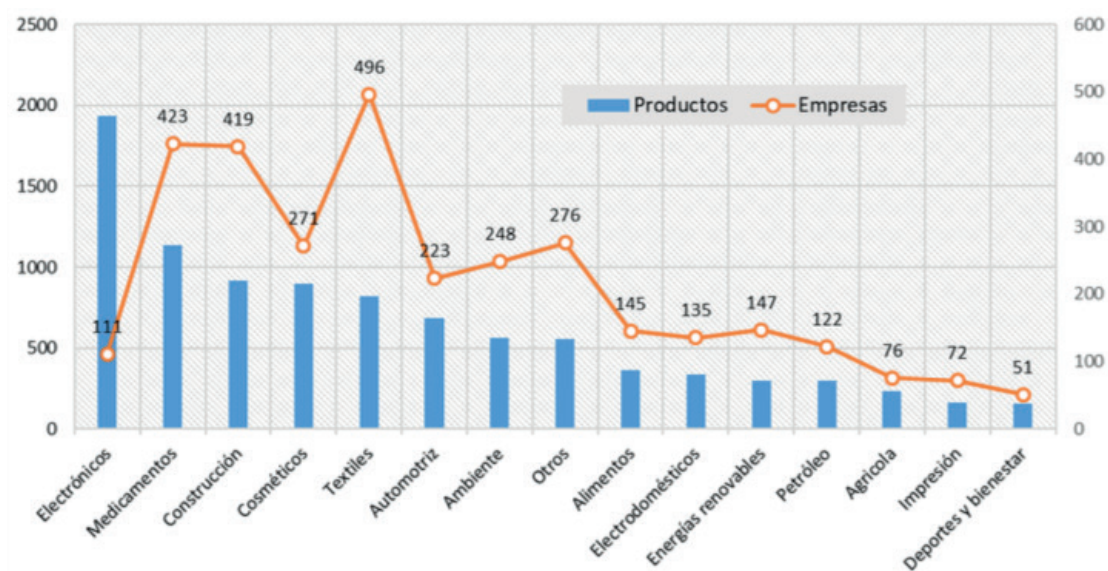
⁸ Se considera patente en nanotecnología a lo definido por la especificación técnica ISO/TS 18110 edición 2015 «patentes que incluyen al menos un reclamo relacionado con nanotecnología o patentes clasificadas con un código de clasificación IPC relacionado con nanotecnología como B82».

⁹ <https://statnano.com/news/68635/2020%E2%80%99s-Statistical-Review-of-Top-Countries-in-Holding-Nanotechnology-Patents>

que citaremos a continuación, son útiles como marco de referencia. En cuanto a los productos de consumo final para el año 2021, existen alrededor de 2 709 empresas que fabrican y comercializan alrededor de 9 346 productos con nanotecnología en más de una decena de sectores. La figura 2 muestra la distribución de los productos de consumo final por sectores y el número de empresas ligadas a ese sector. El sector con mayor número de productos es el de electrónicos (21%), seguido del de medicamentos (12%), construcción y cosméticos (10%). Es de notar que el sector agrícola y alimentario tiene pocos productos comercializándose. En el sector de electrónicos los principales productos son los sensores, procesadores, láser, circuitos integrados y *light emitting diodes* (LED). En el sector de medicamentos los suministros médicos y odontológicos. La industria de la construcción también es considerada una de las más importantes, allí encontramos los sectores subindustriales de decoración, los materiales de albañilería y los materiales estructurales.

El mayor número de empresas se encuentra en el sector textil y de medicamentos, destacan los productos farmacéuticos. Las empresas se distribuyen en 64 países principalmente en Estados Unidos, Alemania, China, Irán, Suiza, Japón y Reino Unido como los principales que fabrican productos y aplicaciones con nanotecnología.

Figura 2. Panorama del mercado global de las nanotecnologías por sector en 2021



Fuente: elaboración propia con datos de Nanotechnology Products Database.

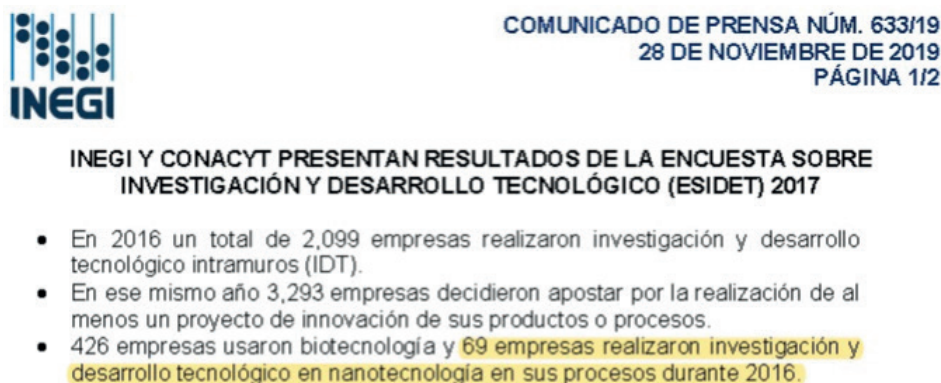
En cuanto al tipo de material, los estudios disponibles indican alrededor de 55 tipos de nanomateriales con los que se fabrican los nanoprodutos. Éstos incluyen metales, óxidos de metal, arcillas, materiales de carbono y nanomateriales orgánicos como nanoencapsulados y nanocompuestos. Aunque hay una diversidad de nanomateriales, la mayor parte son las nanopartículas de plata, nano dióxido de titanio, nano dióxido de silicio, Tungsten disulfide nano, nano arcilla.

Referencias

<https://product.statnano.com/> (consultado en agosto de 2021).

México no es ajeno a la investigación y producción con nanotecnologías. La figura 6 muestra un comunicado de prensa de la agencia INEGI sobre estadísticas de investigación y desarrollo.

Figura 6. Empresas con investigación y desarrollo en nanotecnología en México



Fuente: INEGI, Comunicado de Prensa 633/19.

Durante el primer año el proyecto estudió el tema de la divulgación de las nanotecnologías. El trabajo de García-Guerrero (2021) plantea algunos aspectos a partir de los cuales varias preguntas podrían ser pertinentes para una reflexión crítica sobre la divulgación; por ejemplo: ¿cómo distinguir divulgación científica de propaganda, inclusive en publicaciones de formato científico?; ¿puede una divulgación científica crítica evitar ser considerada *junk science*? ¿cómo superar los diversos retos que el autor menciona en relación a la divulgación de las nanotecnologías?

Artículos de investigación y capítulos de libro 1

García Guerrero, M. (2021). Divulgación para la construcción social de las nanotecnologías. In J. Díaz & M. Casado (eds.), Libro blanco de las nanotecnologías. Una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología (Aranzadi).

Resumen

Las nanotecnologías se establecieron como la gran ola de innovaciones que ya influye en la forma en que vivimos y trabajamos en el siglo XXI, ello tiene fuertes implicaciones para la sociedad moderna. Para que la sociedad pueda aceptar, aprovechar y transformar estos avances científico-tecnológicos es necesario hacerlos parte de la discusión pública, a través de estrategias efectivas de divulgación que

los acerquen a todo tipo de sectores sociales. El presente trabajo ofrece un panorama de los retos y las rutas para procurar la construcción social de esta gran revolución tecnológica.

El documento que sigue es un conversatorio que se puede acceder en la Web, y que da una idea general y crítica del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. Elaborado por tres integrantes del equipo del proyecto el seminario fue organizado por IPEN (International POPs Elimination Network) en su sección de América Latina y el Caribe.

Artículos y material de divulgación I

Záyago Lau, E., Arteaga Figueroa, E., & Foladori, G. (2021, noviembre 24). Nanotecnologías en América Latina y el Caribe: Una perspectiva crítica [Conversatorio]. IPEN webinars, Ciudad de México. Disponible en español y portugués en: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLLxyGs1N7tUIxD3-vvf-JH19bnqW0fXR3v>

Reflexión final de la primera sección

Analizar críticamente el desarrollo de las nanotecnologías y, en particular, de las políticas públicas se enfrenta a muchas situaciones de facto, que imprimen una trayectoria difícil de modificar. Destacamos tres de ellas que son generales, pero de gran importancia en el caso de las nanotecnologías:

- © La investigación y producción de nanomateriales y componentes avanzó durante las primeras dos décadas del siglo XXI en gran medida sin control. La política pública de los países desarrollados y organismos internacionales se alinió bajo el supuesto de que los exámenes y pruebas toxicológicas que se le hacen a las sustancias químicas en tamaño macro son adecuados y suficientes para abordar los nanomateriales. Esto fue explícito durante la primera década; y no reconocido pero *de facto* durante la segunda. A todas luces se trata de un supuesto frágil, habida cuenta de que las empresas utilizan nanomateriales porque desatan novedosas funcionalidades, mientras que al momento de analizar la toxicidad la novedad no se toma en consideración. Cuando, luego de más de una década de investigación y desarrollo se acepta que los criterios de análisis deben ser específicos para el tamaño nano, en muchos casos como sucede con un nuevo químico, ya se había formado una base ideológica, técnica y comercial para ignorarlo, haciendo sumamente difícil cualquier regulación. Las dificultades aumentan si se considera que se trata de materiales que son utilizados en las más diversas industrias, por lo cual cualquier regulación se enfrenta a políticas sectoriales, además de las bases generales. En los últimos años se ha sumado a la incertidumbre propia de los nanomateriales las derivadas de los nanomateriales inteligentes. Estos son aquellos que reaccionan a estímulos externos. Se trata de nanomateriales más complejos y con una evolución durante su ciclo de vida que puede implicar cambios en su composición o funcionalidad que hace aún más difícil la previsión de los potenciales riesgos asociados (Gottardo *et al.*, 2021).

- © Las características de los nanomateriales hacen sumamente difícil su regulación. No existe un riesgo general para los nanomateriales, son todos potenciales riesgos particulares, no sólo para cada nanomaterial sino, muchas veces, para la manera como se combina en una determinada matriz, las diferencias de forma que puedan tener, el grado y posibilidad de desprenderse de su matriz y combinarse con muchas otras sustancias químicas y las acciones de las fuerzas naturales, el destino final que un nanomaterial puede alcanzar en un organismo, el grado de solubilidad, y hasta las diferencias de tamaño entre pocos nanómetros para un mismo material, y otras características. Estrictamente, hablando cada caso es un caso, mientras que la regulación no puede ser individualizada. A esto hay que agregar que los exámenes convencionales de riesgo son todos individualizados, lo cual hace costoso y muy lento los análisis. Ha habido, sin embargo, propuestas generales que nunca fueron siquiera discutidas, como la de comienzos de siglo de restringir las nanotecnologías a la investigación y desarrollo, prohibiendo la comercialización de productos hasta tanto no se tenga seguridad de su inocuidad; o las de prohibir determinadas nanopartículas comprobadamente tóxicas en cosméticos o productos alimenticios a finales de la primera década (ETC group, 2002; Miller, 2006). En los niveles más restringidos de la enseñanza y los proyectos de investigación con fondos públicos diversos criterios podrían favorecer un desarrollo menos riesgoso de las nanotecnologías, como el requerir porcentajes del financiamiento para los análisis de riesgo, e incluir implicaciones sociales de las nanotecnologías en los planes de estudio de los posgrados que tratan el tema.
- © El contexto mundial de las dos primeras décadas del siglo XXI, en que se desarrollan las nanotecnologías, ha sido de un neoliberalismo desenfrenado. Una de las características es el crecimiento de la gobernanza basada en orientaciones voluntarias, suplantando regulaciones oficiales obligatorias. Desde la década de 1990 se desata una lucha por parte de corporaciones y gobiernos neoliberales por sustituir las regulaciones oficiales, que normalmente tienen un determinado marco jurídico y están sujetas a sanciones formales, por lo que se ha llamado a la gobernanza voluntaria, que es la autoresponsabilidad y normativas que las empresas asumen como promesas de comportamiento y desarrollo. En el caso de las nanotecnologías esto fue explícito, y se desarrolló con gran ímpetu desde finales de la primera década del siglo. Primero con códigos de conducta emitidos por las corporaciones, luego por empresas privadas y organizaciones dedicadas a vender certificados de seguridad y confiabilidad a las empresas (Foladori, 2009). Con esta ola de privatización del comportamiento empresarial muchos gobiernos relegaron su actividad fiscalizadora confiando en que la empresa privada podía cubrir esa preocupación social.
- © Frente a estas dificultades objetivas para la regulación no deben perderse de vista las posibilidades de contar con los avances y colaboraciones con otros países. El desarrollo y enfoque de la gobernanza de las nanotecnologías es muy desigual a nivel internacional, y la posibilidad de asumir disposiciones más avanzadas y que se han basado en amplios y demorados análisis con equipos sofisticados que no siempre están al acceso de países menos desarrollados es una alternativa. A nivel corporativo la réplica de políticas entre asociaciones y organizaciones es algo muy común, como sucede dentro de la OCDE

(Drilhon, 1991) o de la ISO, y aunque sus medidas son necesariamente voluntarias, en la práctica terminan imponiéndose de manera forzosa al estar ligadas a financiamientos, tratados de libre comercio, o simplemente presiones políticas importantes. América Latina, por ejemplo, tiene algunos convenios de colaboración a nivel de investigación y desarrollo entre determinados países, y podría extender estos ejemplos a la discusión de políticas públicas de regulación de las nanotecnologías.

- © Una vez que se ha reconocido a las nanopartículas como nuevas sustancias químicas, estas últimas son objeto de estudio e incorporadas a los planes de desarrollo de los países. El concepto de economía circular, por ejemplo, ya está presente en muchos países. En la Unión Europea se menciona sistemáticamente desde hace 20 años, y en 2020 lanzó un Plan de Acción en tal sentido (European Commission, 2020), lo que ilustra avances a nivel gubernamental que son posibles de ser considerados y eventualmente replicados por otros países aun siendo normativas voluntarias gubernamentales y haber sido criticadas.

Segunda sección. Avances y resultados

Esta sección está dedicada a ordenar temáticamente los avances y resultados del proyecto a dos años de su inicio. Dada la amplitud de sectores que abarcan las nanotecnologías se avanzó en diversos temas. La mayoría de ellos presentan sinergias o dependencias entre ellos, y en otros casos se presentan como ejemplos sectoriales. En lo que sigue haremos un agrupamiento no rígido, para englobar los diferentes productos (artículos científicos, capítulos de libros, bases de datos, productos de divulgación). De los artículos científicos y capítulos sólo se incluirán los resúmenes y un enlace para su captura en la web. Los temas que aglutinan los productos son diversos: presencia de las nanotecnologías en México, gobernanza y regulación, el Principio de Precaución, las nanotecnologías en el contexto de las nuevas tecnologías, riesgos de las nanotecnologías, nanomedicina y agricultura y alimentación.

Presencia de las nanotecnologías en México

A la fecha no existe un seguimiento oficial del desarrollo de las nanotecnologías en México, tampoco una política dirigida a esta área. Por tanto, la información que se conoce es parcial y eventual. Algunas instituciones han realizado diagnósticos. Así, por ejemplo, el CIMAV elaboró el documento *Diagnóstico y prospectiva de las nanotecnologías en México* (2008); el mismo año el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro editó el documento *Las nanotecnologías en México. Situación actual* (Lozano Guzmán, 2008). En 2018 la empresa ProMexico elaboró un documento sobre las nanotecnologías en México, aunque sin mayor detalle de la información (ProMéxico, 2018).

Investigación y desarrollo

Datos referentes a investigación y desarrollo de las nanotecnologías en México es lo más disponible, en la medida en que se trabajen las bases de datos cienciométricos. Información referente a producción es más difícil, ya que no existen registros sistemáticos sobre el tema, lo mismo ocurre con información acerca de comercialización o sobre aspectos financieros. Por último, la información referida a políticas públicas también está dispersa. El proyecto ha avanzado en estos diferentes ángulos del desarrollo de las nanotecnologías y para distintas áreas.

En lo que se refiere a la investigación y desarrollo en México, el trabajo cienciométrico desarrollado en el IIMAS de la UNAM por Eduardo Robles-Belmont ha permitido ver la continuidad de las publicaciones científicas en nanotecnología por autores radicados en instituciones nacionales y ha abierto muchas líneas de investigación futura que pueden verse en el siguiente documento.

Robles Belmont, E. (2021). Actualización, análisis y visualización de la producción científica en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México hasta el año 2020. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Produccion-Cientifica.pdf>

Actualización, análisis y visualización de la producción científica en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México hasta el año 2020

Proyecto CONACYT: Ciencia de Frontera 2019. No. 304320 Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socio-económicas nacionales

Eduardo Robles-Belmont
IIMAS, UNAM

Agosto 2021

Metodología

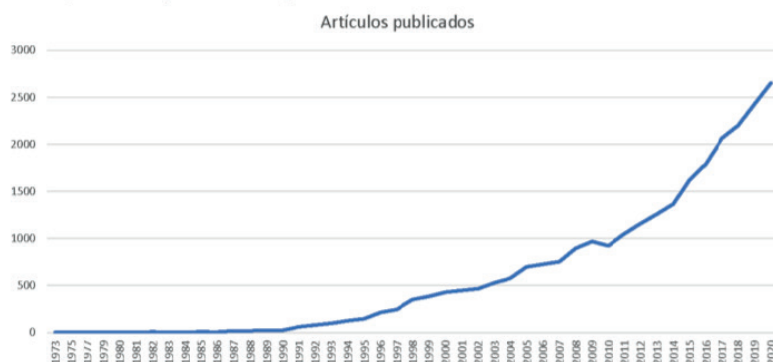
La estrategia de búsqueda es una combinación de diversas propuestas en la literatura en la bibliometría y la cienciometría sobre el caso de las nanociencias y nanotecnologías. Se trata de estrategias de búsqueda de datos en la colección principal de la Web of Science, las cuales han sido revisadas por nanotecnólogos y estrategias evolutivas (método estadístico de representatividad). La combinación se realizó en un estudio previo (Robles-Belmont y Vinck, 2011).

Los resultados reportados en este estudio parten de datos bibliográficos obtenidos de la colección principal de la Web of Science, cuya consulta se realizó el 20 de febrero de 2021 y la actualización de la base de datos WoS fue el 19 de febrero del mismo año. Los resultados retenidos han sido hasta el año 2020, por lo cual es necesario advertir sobre el efecto de la cola de indización en torno a las referencias del último año. Esto se refiere a que a lo largo del año 2021 seguirán siendo indizados documentos científicos publicados en el año 2020, los cuales no tenemos registro en nuestra base de datos actual.

El análisis de los datos se ha hecho con el programa informático Access. Las tablas y gráficos con Excel y RawGraphs, así como otras aplicaciones para visualizar datos que se usarán en función de las necesidades del análisis en el proyecto. Además, el análisis y visualización de los datos se ha realizado con herramientas para el análisis de redes sociales: Pajek, UCINET, VOSViewer, MapEquation, etc. Finalmente el análisis de contenido, semántico y de minería de texto se puede realizar con WordMapper, T-Lab, etc. La elección de las herramientas y metodologías para el análisis de los datos se hará a partir de las necesidades y las preguntas de investigación en el marco del proyecto.

Los resultados presentados en este reporte son parciales y buscan mostrar un panorama muy general de la base de datos actualizada hasta el año 2020. El objetivo central es presentar resultados que animen la reflexión y formulación de preguntas a partir de los datos obtenidos. Un texto está en proceso de escritura con estos datos y se usarán algunas de las gráficas y visualizaciones, si necesitan para sus textos alguna visualización o gráfica no olviden avisarme para proporcionarles y no usar las mismas imágenes en dos o más textos.

El análisis solo considera los artículos científicos por tratarse de conocimiento certificado (ha pasado por un proceso de discusión, revisión y evaluación).



Tipo de documento	Documentos	% de 30924
Article	26858	86,85%
Proceedings Paper	5391	17,43%
Review	909	2,94%
Book Chapter	328	1,06%
Meeting Abstract	328	1,06%
Editorial Material	107	0,35%
Early Access	96	0,31%
Letter	57	0,18%
Note	39	0,13%
Correction	33	0,11%
Data Paper	17	0,05%
Book Review	2	0,01%
Retracted Publication	1	0,00%
Correction, Addition	1	0,00%
Discussion	1	0,00%
Hardware Review	1	0,00%
News Item	1	0,00%
Retraction	1	0,00%

Perfil disciplinar del campo nano (science map)

Un indicador interesante de mirar concierne a las categorías disciplinarias donde son indizadas las revistas en las cuales se han publicado los artículos científicos. En el caso de la Web of Science tenemos las WoS Categories, con las cuales podemos realizar lo que se conoce como un *science map*, yo prefiero llamarle perfil disciplinar del campo.

Entonces los datos vienen de la WoS, solo para artículos y hasta el año 2020. Estos datos han sido analizados con Pajek y la identificación de clústeres con el Método de Louvain, y finalmente la visualización con VOSviewer. El resultado se expone en la siguiente página, pero antes es pertinente mirar las principales disciplinas donde se han publicado los artículos.

La Tabla siguiente muestra las principales 10 categorías de disciplinas donde se han publicado los artículos en nano en México. Una cuarta parte de la producción científica es en Ciencias de los Materiales, con menor presencia esta Física Aplicada y Físico-química Física de la Materia Condensada.

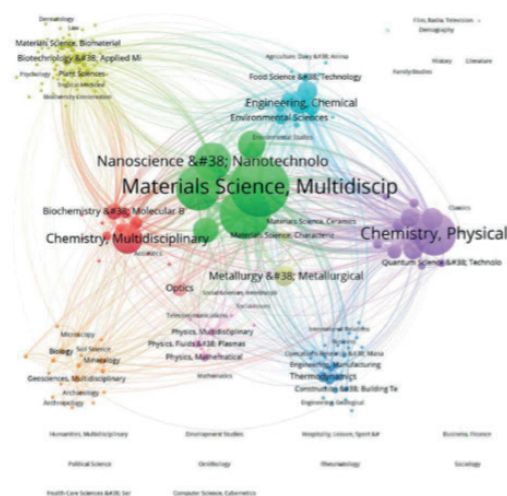
De las disciplinas mostradas en esta tabla, predomina el aporte de la física y la química, ambas son áreas con una tradición consolidada en México.

Categorías WoS	Artículos	% de 26858
Materials Science, Multidisciplinary	8529	31,76%
Physics, Applied	5029	18,72%
Chemistry, Physical	4394	16,36%
Physics, Condensed Matter	3682	13,71%
Nanoscience & Nanotechnology	2560	9,53%
Chemistry, Multidisciplinary	2072	7,71%
Engineering, Chemical	1524	5,67%
Polymer Science	1339	4,99%
Materials Science, Coatings & Films	1296	4,83%
Electrochemistry	1231	4,58%

La visualización basada en el Análisis de Redes Sociales y de Clustering muestra las relaciones entre las disciplinas, y a partir de estas relaciones se puede establecer clústeres o agrupamientos de disciplinas relacionadas en la producción de nuevos conocimientos en el campo nano.

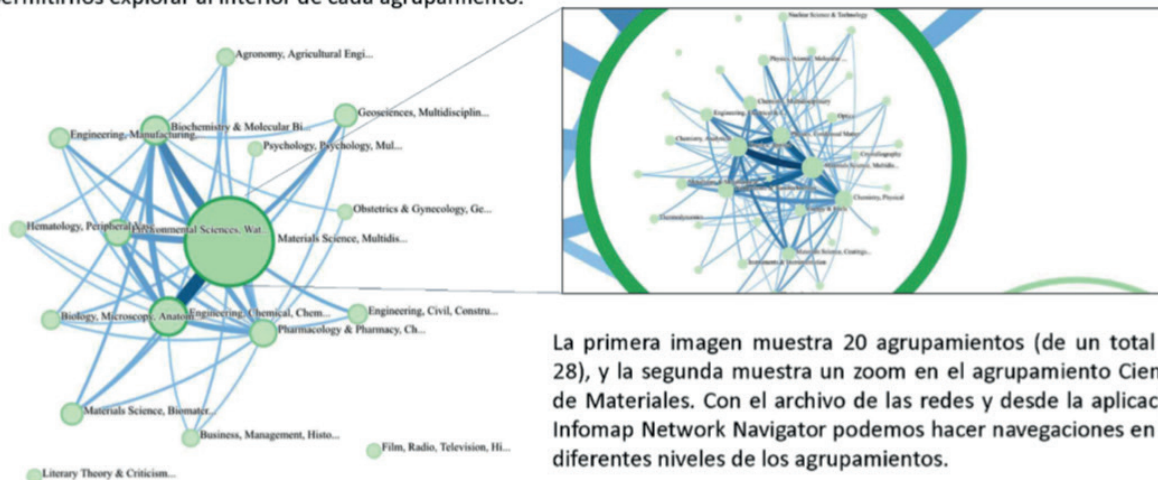
El resultado de este análisis muestra un total de 25 clústeres, con una modularidad de 0,467, lo que indica que las disciplinas tienen una conectividad media al interior de cada clúster, y conexiones aún menos importantes con otros clústeres.

En la visualización podemos apreciar que el modulo mayor esta encabezado por Ciencia de Materiales, seguido de Físico-química, Química (multidisciplinaria) e Ingeniería Química. Además, hay nodos y agrupamientos no conectados con el componente principal, los cuales puede deberse a trabajos marginales (pocos trabajos publicados) y emergentes (temáticas nuevas).



Perfil disciplinar del campo nano (science map)

Otra herramienta interesante de usar para el análisis de este tipo de datos es MapEquation, cuyo método es bastante estable y permite hacer análisis multinivel de redes. El análisis de clustering es diferente al anterior, pues además de estar basado en el enfoque de módulos, va más lejos al identificar niveles en la estructura de las redes, así como permitirnos explorar al interior de cada agrupamiento.



La primera imagen muestra 20 agrupamientos (de un total de 28), y la segunda muestra un zoom en el agrupamiento Ciencia de Materiales. Con el archivo de las redes y desde la aplicación Infomap Network Navigator podemos hacer navegaciones en los diferentes niveles de los agrupamientos.

La distribución institucional es otro indicador muy común en los estudios bibliométricos y cienciométricos. Conocer esta distribución nos permite identificar donde se encuentran instaladas las capacidades científicas y tecnológicas, así como la concentración de estas capacidades. Por otro lado, si la estructura de los datos permite hacer cruces con otra información, se pueden pensar indicadores que permitan conocer a partir de la distribución institucional, y espacial, en términos de las disciplinas y temáticas.

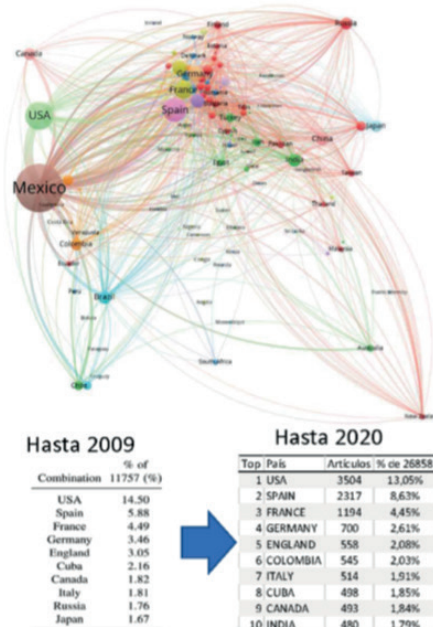
Sin embargo, los datos, que las bases de indización nos permiten descargar, no están normalizados, lo cual dificulta esta tarea porque el trabajo de normalización de las instituciones requiere mucho tiempo. La estrategia que nos queda es hacer las consultas a partir de las instituciones desde el motor de búsqueda de la Web of Science. Entonces, necesitamos formular las preguntas y, a partir de éstas, hacer nuevas consultas de información por institución.

Por el momento, lo que tenemos es la siguiente tabla que se limita a exponer la frecuencia de las instituciones de adscripción de los autores en el campo nano en México.

Top Institución	Artículos	% de 26858
1 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	9168	34,14%
2 INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL MEXICO	4948	18,42%
3 CINVESTAV CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	3355	12,49%
4 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA MEXICO	2075	7,73%
5 BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	1515	5,64%
6 UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	1360	5,06%
7 UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	1334	4,97%
8 INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	972	3,62%
9 UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	953	3,55%
10 CIMAV CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS S C (901)	901	3,35%

Colaboraciones internacionales

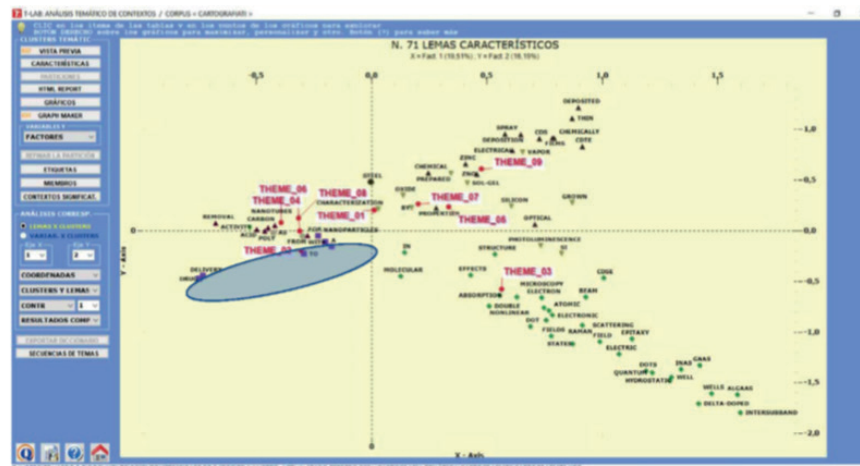
- En cuanto a las colaboraciones internacionales hasta el año 2020, se ha colaborado con un total de 116 países diferentes en el campo de las nanociencias y nanotecnologías.
- Seguramente estas colaboraciones han aumentado, aunque es necesario hacer una comparación entre las colaboraciones nacionales y las internacionales para mejor observar la evolución de ambas (punto pendiente por realizar).
- En general podemos ver en la red de esta lamina que siguen predominando las colaboraciones con USA y Europa.
- A partir de la ultima publicación sobre estas colaboraciones, vemos que en estos 10 últimos años las colaboraciones con USA han disminuido, mientras que con Europa el aumento es más importante, así como con Colombia.
- Los colores de los agrupamientos (análisis de clustering) esta realizado con VOSviewer, pero se pueden hacer otros análisis.
- Podría ser interesante hacer un análisis más detallado sobre las colaboraciones por continente y ver sus trayectorias y dinámicas en el tiempo.



Este tipo de visualizaciones me interesa mostrarles ahora pues son de mucha ayuda para la etapa exploratoria de los datos. La idea es tener un primer panorama general de lo que se ha desarrollado en las nanociencias y nanotecnologías en México, y partiendo de esos resultados veamos que preguntas nuevas resultan y hasta dónde estos análisis nos permiten abordarlas.

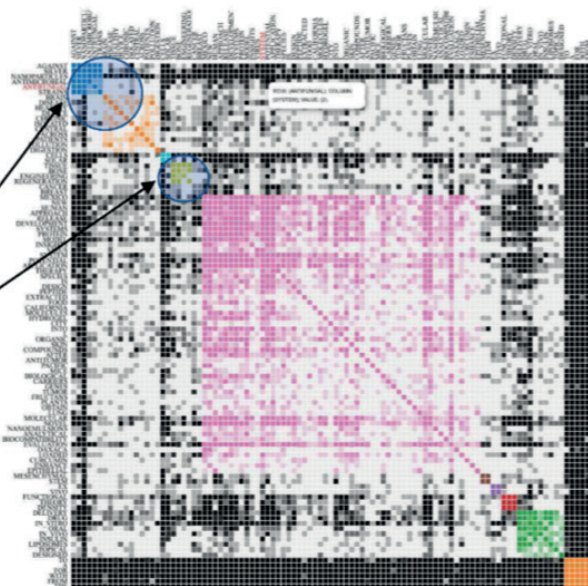
Cartografías de temáticas

- En los 9 clústeres encontramos palabras claves que describe cada eje temático. Analizar la cartografía sin el programa es difícil ya que no podemos hacer acercamientos y ver a detalle lo que hay en cada clúster.
- Lo anterior es un límite importante y debemos usar tablas de adyacencia y matrices para poder analizar los resultados.
- Enseguida hacemos un acercamiento (zoom) sobre el clúster 2.

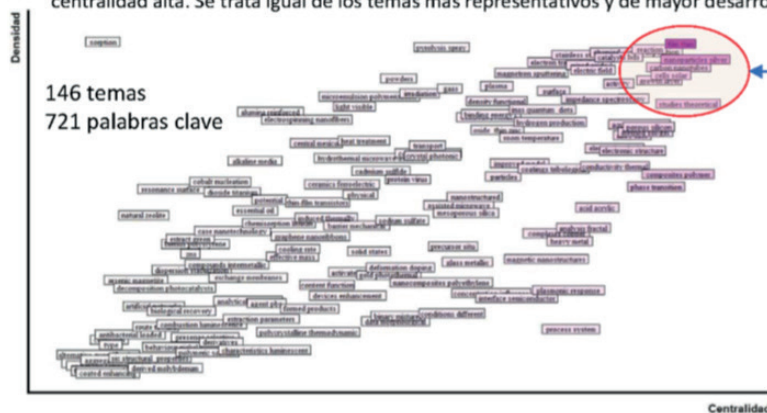


Ejemplo con el clúster 2:

- Dentro de este eje temático encontramos 9 temáticas, las cuales se muestran en la matriz de adyacencia de esta lamina.
- Por ejemplo, la primera (color azul) concierne al desarrollo de aplicaciones para las nanopartículas de plata basadas en sus potencialidades antibacteriales y fungicidas.
- Otro ejemplo es la de color kaki que evoca trabajos sobre regeneración celular para la ingeniería de tejidos.
- Esta gráfica contiene bastante información y para leerla es necesario el archivo que les envío en documento adjunto y podrán abrir en cualquier explorador web.
- Para que miren a detalle lo que hay en cada una de los 9 ejes temáticos, les envío en un archivo .zip las matrices de adyacencia.

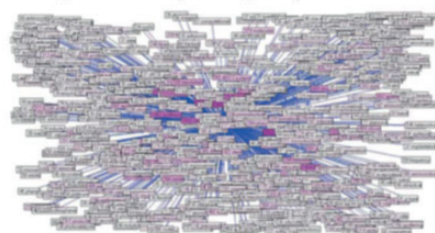


- WordMapper es una herramienta muy estable de análisis de contenido o minería de texto. Requiere grandes cantidades de texto como insumo y a través de análisis estadístico y basado en la co-ocurrencia de las palabras permite identificar temáticas o ejes temáticos en el texto. Partiendo de la co-ocurrencia propone una gráfica donde están todos los temas identificados en función de la Densidad (grado de conexión de las palabras clave al interior de cada conjunto o clúster) y de la Centralidad (grado de conexión de cada clúster con el resto de los clústeres).
- Las temáticas en la parte inferior e izquierda de la gráfica con temas emergentes o en decadencia, es decir, poco representativos, pero no hay que despreciarlos. En la parte superior y derecha están los temas ejes o centrales, es decir, aquellos que tienen una densidad y centralidad alta. Se trata igual de los temas más representativos y de mayor desarrollo.



Temáticas principales o grandes ejes: las palabras que conforman este clúster tienen una representación alta, así como densidad y centralidad.

Nanopartículas de plata -> plata y sus relaciones





Esta reinterpretación de los temas muestra ejes temáticos, cuyo análisis requiere ser minucioso con la ayuda de la herramienta VOSviewer (tengo los archivos disponibles por si alguien quiere mirarlos).

Complementando la visión general de la investigación y desarrollo el proyecto realizó un análisis de las publicaciones científicas en nanomedicina; éste será incluido más adelante en el capítulo correspondiente a esa temática (Robles Belmont, 2021b).

Complementando la información anterior Claudia Esparza-Vela recopiló la información acerca de patentes sobre nanomedicina registradas en México.

Bases de datos III

Esparza-Vela, Claudia (2022) Patentes de nanomedicina en México. Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera No. 304320.

Patentes de nanomedicina en México

Claudia Lucía Esparza Vela. Julio 2022

Este documento da cuenta de las patentes emitidas en México sobre nanomedicina por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). Como el interés de la búsqueda no es conocer las patentes activas, sino la orientación temática de la investigación que llevó al registro, se consideraron todas las patentes que estuvieran aceptadas, en trámite o vencidas por falta de pago.

Metodología de búsqueda

El proceso de búsqueda incluyó tres etapas.

1. La primera etapa consistió en ingresar al Sistema de Información de la *Gaceta de la Propiedad Industrial* (SIGA) del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI): <https://siga.impi.gob.mx/newSIGA/content/common/principal.jsf>. En búsqueda especializada se añadió el área «patentes» y se colocó el término «nano*». La fecha de búsqueda se filtró con base en su puesta en circulación: $\geq 2000/01/01$ AND $\leq 2022/07/22$. Esta primera etapa dio como resultado 5 830 patentes relativas a nanotecnologías.

2. La segunda etapa consistió en utilizar la búsqueda compleja, que permite múltiples términos. Se emplearon, además del término «nano» los siguientes correspondientes a nanomedicina que fueron seleccionados de bibliografía sobre el tema: «medicamentos y administración de agentes terapéuticos», «terapia», «diagnóstico», «nanomateriales para aplicaciones médicas», «dispositivos médicos», «medicina regenerativa o ingeniería de tejidos» y «vacunas».

Esta segunda etapa dio como resultado 92 patentes correspondientes a nanomedicina.

3. La tercera etapa fue transferir la información del IMPI a una tabla de Excel. En esta tabla se filtraron las patentes para colocar las áreas de nanomedicina en columnas independientes. Un ejemplo de la información que contiene la tabla puede verse a continuación del gráfico que sigue. Esta tabla ya depurada será objeto de posteriores análisis.

Resultados

Se encontraron 5 839 patentes otorgadas con fundamento en el término «nano*». De ellas, 92 (1.58%) corresponden a alguna de las siete áreas de nanomedicina. De estas 92 patentes de nanomedicina hay 24 registros de México. Las 68 restantes son registros con sede en países extranjeros, donde sólo dos son latinoamericanos. Los principales países extranjeros que registran son Estados Unidos con 21 patentes, seguido de Rusia con 9, Francia con 8 y Japón con 6. La mayoría de las patentes de México corresponden a las áreas de desarrollo de medicamentos o de terapias contra el cáncer. Sólo existe un registro concedido para nuestro país en vacunas.

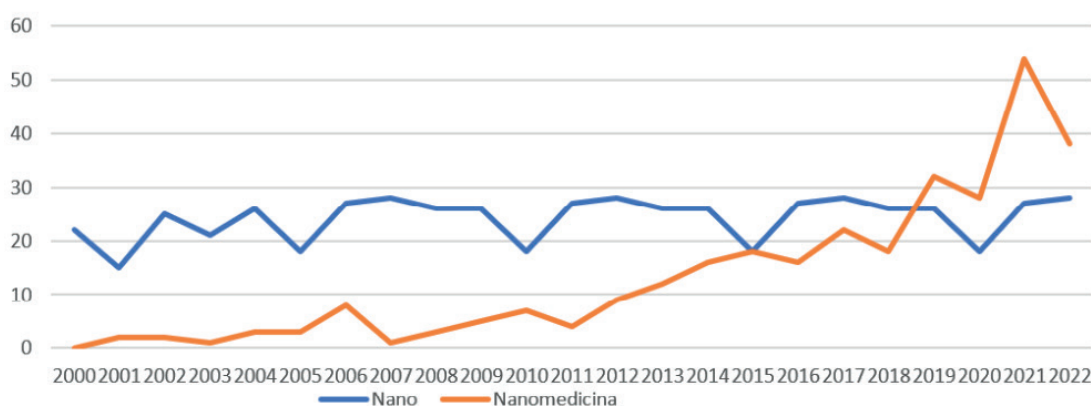
A continuación se incluye un gráfico de la evolución de las patentes para el término «nano*» y para nanomedicina. Nótese cómo, a partir de la segunda década, el crecimiento de las patentes dirigidas a nanomedicina se distancia de las patentes nano en general, cuya curva se mantiene prácticamente estable. El cuadro que sigue al gráfico es un ejemplo de la información utilizada a que da acceso la base de datos sobre patentes.

Ejemplo de datos de las patentes utilizados y en procesamiento según información de IMPI

No. patente	Título	Titular (es)	Resumen	Inventor(es)	País titular	Fecha de concesión	Fecha de presentación ante IMPI	Área de la nanomedicina					
								Medicamentos y administración de agentes terapéuticos	Terapia	Diagnóstico	Nanomateriales para aplicaciones médicas	Dispositivos médicos	Medicina regenerativa/ingeniería de tejidos
1	MX 395585B	Johnson & Johnson Consumer Inc. [US]; Grandview Road 199, Skillman, New Jersey	Nanocemulsión que contiene una sal de amonio cuaternario con al menos una cadena de veinte carbonos es eficaz para prevenir el crecimiento de biopelículas	Manon ROSSANO [FR]; Sandra NOE [FR]	EUA	50/06/2022	13/07/2020	X					

Fuente: elaboración propia (26 de julio del 2022) IMPI 2022.

Evolución de patentes concedidas nano vs nanomedicina en México (2000-2022)



Fuente: elaboración propia con información obtenida del IMPI.

Otra área en que se sistematizó y clasificó información referente a investigación y desarrollo de nanotecnologías en México es sobre cursos de enseñanza superior. A seguir se incluye una base de datos reducida, elaborada por Laura Villa-Vázquez.

Bases de datos IV

Villa Vázquez, Laura (2022). Programas educativos en nanotecnología en México. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320 (Fordecyt-Pronaces/304320/2020). <https://relans.org/wp-content/uploads/Produccion-Cientifica.pdf>

Programas educativos en nanotecnología en México

Laura Liliana Villa Vázquez

La formación de recursos humanos en Nanotecnologías en México ha estado presente en las Instituciones de Educación Superior (IES) en las dos últimas décadas. El primer programa especializado en el tema fue la licenciatura en nanotecnología e ingeniería molecular, ofertado por la Universidad de las Américas en Puebla (UDLA) en 2006 (Takeuchi & Mora Ramos, 2011). En la actualidad son múltiples las instituciones educativas tanto públicas como privadas que ofrecen grados en el tema. Sin embargo, no se cuenta con información organizada sobre los programas y sus características; en ese sentido, el Proyecto Ciencia de Frontera No. 304320 se ha dado a la tarea de sistematizar la información al respecto.

La búsqueda de programas educativos partió de la presencia de la palabra «nano» en la denominación del grado (técnico superior universitario, licenciatura, maestría y doctorado).¹⁰ Se tomó como

¹⁰ El criterio tomado puede dejar de lado programas educativos con acento en las nanotecnologías que en su denominación no enuncie el término «nano».

base los anuarios estadísticos de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior de México (ANUIES, 2021), así como el registro de instituciones de educación superior de la Secretaría de Educación Pública (SEP); de igual forma, se revisaron los programas de los centros de investigación públicos, así como de las IES privadas.



Fuente: elaboración propia con base en el texto.

En México la educación superior se divide en tres apartados: técnico superior universitario, licenciatura y posgrado. La organización de la información nos permitió identificar un total de 60 programas educativos en nanotecnologías. El 50% son licenciaturas; de ellas 24 se denominan ingenierías y las restantes licenciaturas.¹¹ Por su parte, el total de la oferta de técnico superior universitario (TSU)¹² se genera en las Universidades Tecnológicas. Los posgrados representan el 36% de la oferta.¹³

El 87% de la formación de recursos humanos en nanotecnologías se brinda desde instituciones de educación superior públicas y Centros de Investigación de Conacyt; en tanto, la oferta restante es realizada por instituciones privadas (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidentes (ITESO), Universidad de las Américas (UDLA) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)).¹⁴

Al georreferenciar los programas encontramos oferta educativa en nanotecnologías en 21 de las 32 entidades federativas. Se observa una concentración en estados que tradicionalmente han sido caracterizados por su actividad industrial, como el Estado de México, Nuevo León, Querétaro, Jalisco e Hidalgo. En la Ciudad de México se otorgan dos grados de nivel de doctorado solamente. Un elemento destacable es que estados como Chiapas, Veracruz, Michoacán, Tabasco, Morelos y Durango con presencia importante de actividades primarias y terciarias han encontrado en las nanotecnologías

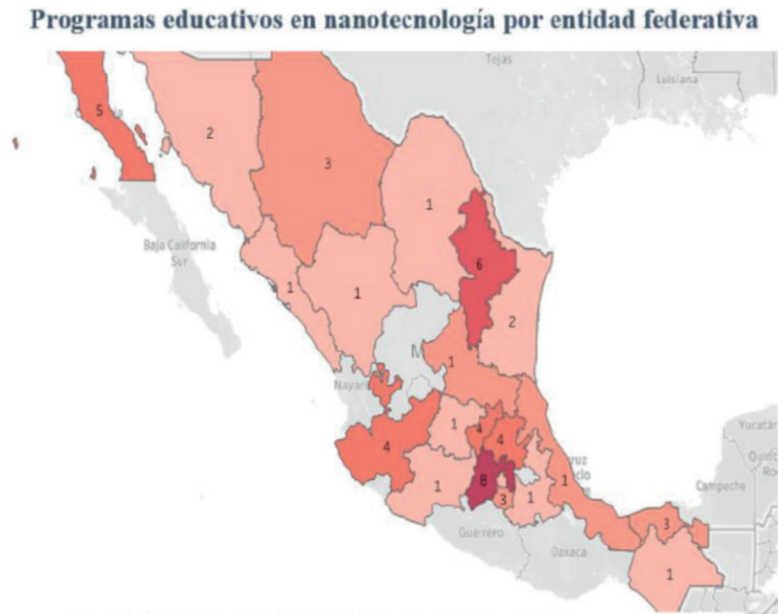
¹¹ La denominación tiene que ver con el registro del programa académico.

¹² Carreras cortas (dos años) que permite la incorporación más rápida al mercado laboral.

¹³ Nótese que se trata de una trayectoria distinta a la seguida en Estados Unidos donde los posgrados representan el 63% del total.

¹⁴ El ITESM oferta una licenciatura, una maestría y un doctorado en dos sedes, para efectos del trabajo se registran como programas distintos.

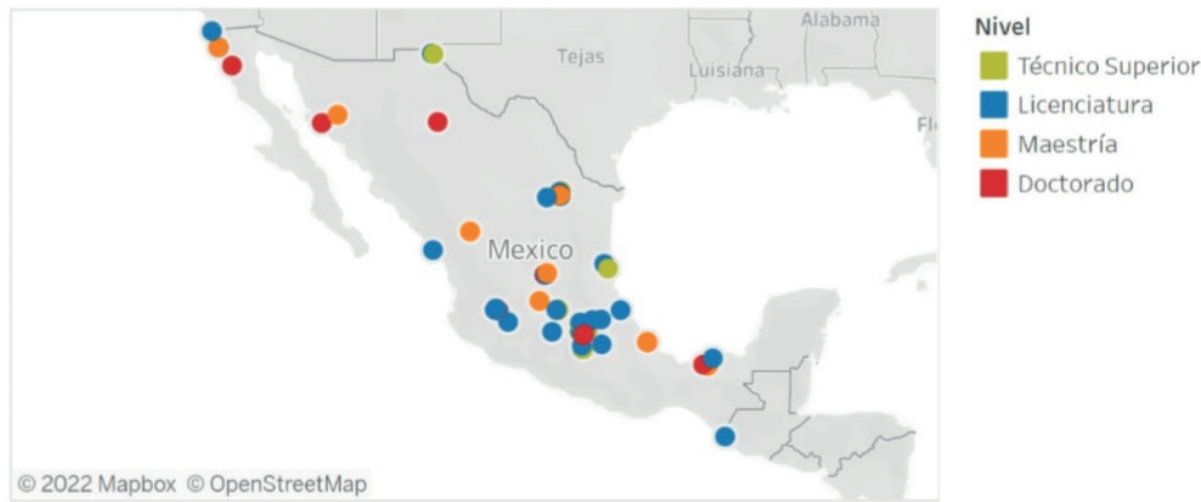
un área de oportunidad para sus ofertas académicas. El siguiente mapa ilustra sobre la distribución geográfica y nivel educativo.



Fuente: elaboración propia con datos señalados en el texto.

La revisión de los planes de estudio mostró énfasis en la tecnología aplicada. En tanto la orientación se centra en la química, la ciencia de los materiales y la ciencia básica. El tema de los riesgos y las implicaciones sociales es prácticamente nulo en los programas educativos.

Figura 8. Programas educativos de nanotecnología en México



Fuente: Villa, L. & Arteaga Figueroa, E. (2022). *Programas educativos de nanotecnología en México* [Map]. ReLANS. <https://relans.org/mapa-de-sitios-web-instituciones/>

Lista de programas educativos de nanotecnología en México

Laura Liliana Villa Vázquez & Édgar Ramón Arteaga Figueroa

	Institución	Propiedad	Nivel	Nombre de programa	Ubicación	Estado	Sitio web	Liga del plan de estudio
1	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	Universidades Públicas Federales	Licenciatura	Licenciatura en nanotecnología	Ensenada - Baja California	Baja California	https://nanotec.ens.cnm.unam.mx	https://nanotec.ens.cnm.unam.mx/um/nanos-y-profesores/plan-de-estudios
2	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Licenciatura en Ingeniería en nanotecnología	Pachuca, Hidalgo	Hidalgo	https://uah.edu.mx/campus/hidalgo/nanotecnologia	https://www.uah.edu.mx/campus/hidalgo/nanotecnologia/mapa-curricular.html
3	Universidad de Guadalajara	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Licenciatura en Ingeniería en instrumentación electrónica y nanosensores	Jalisco, México	Jalisco	http://www.valles.udg.mx/ingenieria_e_instrumentacion_y_nanosensores/plan_estudios	http://www.valles.udg.mx/ingenieria_e_instrumentacion_y_nanosensores/plan_estudios
4	Universidad Autónoma del Estado De Morelos	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Licenciatura en diseño molecular y nanotecnología	Cuernavaca, Morelos	Morelos	https://www.uam.mx/admision-y-oferta-nivel-superior/licenciatura-en-diseño-molecular-y-nanotecnologia	https://www.uam.mx/admision-y-oferta-nivel-superior/licenciatura-en-diseño-molecular-y-nanotecnologia.pdf
5	Universidad de las Américas Puebla	Escuelas Privadas	Licenciatura	Licenciatura en nanotecnología e Ingeniería molecular	Puebla, Puebla	Puebla	https://www.udap.mx/oferta-academica/lae/colletoz/ANM.pdf	https://www.udap.mx/oferta-academica/lae/colletoz/ANM.pdf
6	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Licenciatura en Ingeniería en nanotecnología	Tabasco, México	Tabasco	https://www.uat.mx/202	https://archivos.ujat.mx/2021/div-jalpa/Nanotecnologia.pdf
7	Universidad Autónoma de Baja California	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Campus Ensenada	Baja California	https://www.uabc.mx/formacionbasica/FIchaPE/Ingeniero_en_Nanotecnologia.pdf	http://web.uabc.mx/formacionbasica/FIchaPE/Ingeniero_en_Nanotecnologia.pdf
8	Universidad de Guadalajara	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Licenciatura en Ingeniería en nanotecnología	Tonalá, Jalisco	Jalisco	http://www.cotonal.udg.mx/oferta-academica/ingenieria-nanotecnologia	http://www.cotonal.udg.mx/oferta-academica/ingenieria-nanotecnologia.pdf
9	Universidad Autónoma de Querétaro	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Querétaro, Querétaro	Querétaro	https://www.uaq.mx/index.php/carreras/ingenieria-en-nanotecnologia	https://www.uaq.mx/oferta-academica/lae/ingenieria-en-nanotecnologia
10	Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Universidades Públicas Estatales	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología y energías renovables	San Luis Potosí, S. L. P.	San Luis Potosí	http://www.fci.uslp.mx/informacion-sobre/oferta/archivos/2014/dpto_ing_nanotecnologia/ayer.pdf	http://www.fci.uslp.mx/informacion-sobre/oferta/archivos/2014/dpto_ing_nanotecnologia/ayer.pdf
11	Universidad Tecnológica "Emiliano Zapata" del Estado De Morelos	Universidades Tecnológicas	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Emiliano Zapata, Morelos	Morelos	http://www.utetz.edu.mx/index.php/ing-nit	http://www.utetz.edu.mx/index.php/ing-nit
12	Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez	Universidades Tecnológicas	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Cd. Juárez, Chihuahua	Chihuahua	https://www.utcj.edu.mx/Paginas/Carreteras/Ingenieria-etc/Nanotecnologia.aspx	https://www.utcj.edu.mx/Paginas/Carreteras/Ingenieria-en-Nanotecnologia.aspx
13	Universidad Tecnológica de Coahuila	Universidades Tecnológicas	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Ramos Arizpe, Coahuila	Coahuila	https://utec.edu.mx/index.php/ing-nanotecnologia	https://utec.edu.mx/index.php/ing-nanotecnologia
14	Universidad Tecnológica De Querétaro	Universidades Tecnológicas	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Querétaro, Querétaro	Querétaro	http://www.utec.edu.mx/Aspirante/Default.aspx?pg=12	http://www.utec.edu.mx/Aspirante/Default.aspx?pg=12
15	Universidad Tecnológica De Tecámac	Universidades Tecnológicas	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Estado de México	Estado de México	http://utecamac.edu.mx/informacion	http://utecamac.edu.mx/informacion
16	Universidad Tecnológica De Tula-Tepic	Universidades Tecnológicas	Licenciatura	Ingeniería en nanotecnología	Tula, Hidalgo	Hidalgo	http://www.utte.edu.mx/OfertaEducativa/UTTI/Nuevo/Nanotecnologia.jpg	http://www.utte.edu.mx/OfertaEducativa/UTTI/Nuevo/Nanotecnologia.jpg

17	Universidad Tecnológica De Tulancingo	Universidades Tecnológicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Tulancingo, Hidalgo	Hidalgo	http://www.utecultulancingo.edu.mx/ oferta/nanotecnologia.html
18	Universidad Tecnológica Fidel Velázquez	Universidades Tecnológicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Estado de México	Estado de México	http://ufv.edomex.gob.mx/sites/ufv.edomex.gob.mx/files/files/Alumnos/Otros%20Educativa/ING%20Nanotecnologia.pdf
19	Universidad de la Ciénega de Michoacán De Ocampo	Universidades Estatales Con Apoyo Solidario	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Sahuayo, Michoacán	Michoacán	https://uicnecam.mx/index.php/departamentoseningenieria-en-nanotecnologia/
20	Instituto Tecnológico de Tijuana	Institutos Tecnológicos	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Tijuana, Baja California	Baja California	https://igotectijuana.mx/?page_id=115
21	Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo Michoacán	Institutos Tecnológicos Descentralizados	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Ciudad Hidalgo, Michoacán	Michoacán	https://www.cdi Hidalgo.tecnm.mx/cdi-educativa/showCarrera/Z
22	Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica	Institutos Tecnológicos Descentralizados	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Poza Rica, Veracruz	Veracruz	https://www.itsozarica.edu.mx/carrera-nanotecnologia.html
23	Universidad Politécnica de Tapachula	Universidades Politécnicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Tapachula, Chiapas	Chiapas	https://unopachula.edu.mx/?page_id=4805
24	Universidad Politécnica del Valle de México	Universidades Politécnicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Estado de México	Estado de México	http://upvm.edomex.gob.mx/sites/upvm.edomex.gob.mx/files/files/POE/UPV.M.PDF_MC-LINE-NANOTECNOLOGIA-2018.pdf
25	Universidad Politécnica De Sinaloa	Universidades Politécnicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Mazatlán, Sinaloa	Sinaloa	https://www.upsin.edu.mx/nanotecnologia
26	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey – ITESM	Escuelas Privadas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Campus Monterrey N. L.	Nuevo León	https://tec.mx/es/otendidas-aplicadas/ingenieria-en-nanotecnologia
27	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey – ITESM	Escuelas Privadas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Campus Estado de México	Estado de México	https://tec.mx/es/otendidas-aplicadas/ingenieria-en-nanotecnologia
28	ITESO Universidad Jesuita de Guadalajara	Escuelas Privadas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Guadalajara, Jalisco	Jalisco	https://blogs.iteso.mx/materias-carreras/materias-int/
29	Universidad Tecnológica de Altamira	Universidades Tecnológicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	Altamira, Tamaulipas	Tamaulipas	http://www.utaltamira.edu.mx/ingenieria-en-nanotecnologia/
30	Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo UTE	Universidades Tecnológicas	Licencia tura	Ingeniería en nanotecnología	General Escobedo N.L.	Nuevo León	https://www.ute.edu.mx/411561887533858-a-80093-f8bd
31	Universidad Juárez del estado de Durango	Universidades Estatales	Maestría	Maestría en ciencias en nanotecnología y química de materiales	Durango, Dgo	Durango	http://micanormi.ujed.mx/plan-de-estudios/
32	Universidad Autónoma de Querétaro	Universidades Estatales	Maestría	Maestría en ciencias (nanotecnología)	Querétaro, Querétaro	Querétaro	https://www.uaq.mx/deftaeducativa/programa/ingenieria/ING-mapia-Materia-En-Ciencias-Linea-Terminales/Nanotecnologia.pdf
33	Universidad de Sonora	Universidades Estatales	Maestría	Maestría en nanotecnología	Hermosillo, Sonora	Sonora	http://www.nanotecnologia.uson.mx/mi-estria.html#objetivos

34	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	Universidades Públicas Estatales	Maestría	Maestría en ciencias, con orientación en matemáticas, nanociencias, química y orgánica	Cunducan, Tabasco México	Tabasco	https://www.ujat.mx/mo2	https://archivos.ujat.mx/2021/Div-Basicas/nanociencias/5_Sintesis%20MC OM.pdf
35	Universidad Veracruzana	Universidades Públicas Estatales	Maestría	Maestría en ciencias en nanociencias	Boca Del Rios Ver. México	Veracruz	https://www.uv.mx/veracruz/inmicio/na/	https://www.uv.mx/derta-educativa/mapa-curricular/?programa=UNAVO-08-E
36	CICESE/JUNAM	Centros Públicos de Investigación	Maestría	Maestría en ciencias en nanotecnología	Ensenada, Baja California	Baja California	https://www.cym.unam.mx/nanociencias/?page_id=23	https://www.cym.unam.mx/nanociencias/?page_id=2167
37	Universidad Autónoma de Nuevo León	Universidades Públicas Estatales	Maestría	Maestría en ciencias de la ingeniería con orientación en nanotecnología	Monterrey, Nuevo León	Nuevo León	http://posgrado.unl.mx/maestria-en-ciencias-de-la-ingenieria-con-orientacion-en-nanotecnologia/	http://posgrado.unl.mx/maestria-en-ciencias-de-la-ingenieria-con-orientacion-en-nanotecnologia/
38	Universidad de Guanajuato	Universidades Públicas Estatales	Maestría	Maestría en ciencia y tecnología de los nanomateriales	Guanajuato, Guanajuato	Guanajuato	https://www.ugto.mx/admission/oferta-academica-posgrado/maestria/425-ciencia-y-tecnologia-de-nanomateriales-campus-guanajuato	http://www.posgrados.ugto.mx/Posgrado/PlantEstudios.aspx?tp=999956
39	Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica (IPICYT)	Centros Públicos de Investigación	Maestría	Maestría en nanociencias y materiales	San Luis Potosí, S. L. P.	San Luis Potosí	https://www.ipicyt.edu.mx/materiales/nanociencias/?page_id=100	https://www.ipicyt.edu.mx/materiales/nanociencias/?page_id=142
40	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey – ITESM	Escuelas Privadas	Maestría	Maestría en nanotecnología	Campus Monterrey N. L.	Nuevo León	https://maestriaydiplomados.tec.mx/posgrados/maestria-en-nanotecnologia/#	https://smp.itesm.mx/Programas/VistaPrograma?clave=VNT16&modoVista=D&default&idoma=ES&col=0
41	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey – ITESM	Escuelas Privadas	Maestría	Maestría en nanotecnología	Campus Estado de México	Estado de México	https://maestriaydiplomados.tec.mx/posgrados/maestria-en-nanotecnologia/#	https://smp.itesm.mx/Programas/VistaPrograma?clave=VNT16&modoVista=D&default&idoma=ES&col=0
42	Instituto Politécnico Nacional (ESIQUE, ENCB, UPIBI)	Pública Federal	Doctorado	Doctorado en nanociencias y micro-nanotecnologías	Ciudad de México	CDMX	https://www.spl.esique.inm.mx/derta-educativa/dmmy/programa-academico/plan-estudios.html	https://www.spl.esique.inm.mx/derta-educativa/dmmy/programa-academico/plan-estudios.html
43	Universidad de Sonora	Universidades Públicas Estatales	Doctorado	Doctorado en nanotecnología	Hermosillo, Sonora	Sonora	https://www.nanotecnologia.uson.mx/directorio.html	http://www.nanotecnologia.uson.mx/directorio.html#mapacurr
44	Universidad Juárez Autónoma De Tabasco	Universidades Públicas Estatales	Doctorado	Doctorado en ciencias, con orientación en matemáticas, nanociencias, química y orgánica	Cunducan, Tabasco	Tabasco	http://www.ujat.mx/dico	https://archivos.ujat.mx/2014/dab/Doctorado_con_Orientaciones/mapa_curricular.pdf
45	Universidad Veracruzana	Universidades Públicas Estatales	Doctorado	Doctorado en materiales y nanociencia	Boca Del Rios Veracruz	Veracruz	https://www.uv.mx/veracruz/dico/	https://www.uv.mx/derta-educativa/mapa-curricular/?programa=UNAM-17-E
46	CICESE/ UNAM	Centros Públicos de Investigación/Pública Federal	Doctorado	Doctorado en nanociencias	Ensenada, Baja California	Baja California	https://www.cym.unam.mx/nanociencias/?page_id=2217	https://www.cym.unam.mx/nanociencias/?page_id=2160
47	Centro De Investigación En Materiales Avanzados (CIMAV)	Centros Públicos De Investigación	Doctorado	Doctorado en nanotecnología	Chihuahua, Chihuahua	Chihuahua	https://cimav.edu.mx/wp-content/uploads/2015/11/PlanDeEstudiado-en-nanotecnologia/	https://cimav.edu.mx/wp-content/uploads/2015/11/PlanDeEstudiado-en-nanotecnologia/
48	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)	Centros Públicos De Investigación	Doctorado	Doctorado en nanociencias y materiales	San Luis Potosí, S. L. P.	San Luis Potosí	https://www.ipicyt.edu.mx/materiales/nanociencias/?page_id=2	https://www.ipicyt.edu.mx/materiales/nanociencias/?page_id=144
49	Instituto Tecnológico y de	Escuelas Privadas	Doctorado	Doctorado en nanotecnología	Campus	Nuevo	https://maestriaydiplomados.tec.mx	https://smp.itesm.mx/Programas/Vista

	Estudios Superiores de Monterrey – ITESM	Escuelas Privadas	do	Monterrey N. L.	León	Programa?clave=DNT1&modoVista=Defaut&idoma=E3&col=0
50	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey – ITESM	Escuelas Privadas	Doctorado	Campus Estado de México	Estado de México	https://sam.itesm.mx/Programas/VistaPrograma?clave=DNT1&modoVista=Defaut&idoma=E3&col=0
51	CINVESTAV (Zacatenco)	Centros Públicos De Investigación	Doctorado	CDMX	CDMX	https://nano.cinvestav.mx/Plan-de-Estudios
52	Universidad de Guadalajara	Universidades Públicas Estatales	Doctorado	Jalisco, México	Jalisco	https://www.udg.mx/es/oferta-academica/posgrados/doctorados/doctorado-en-fisico-matematicas
53	Universidad Tecnológica "Emiliano Zapata" del Estado De Morelos	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Emiliano Zapata, Morelos	Morelos	http://www.utez.edu.mx/index.php/su-nanotecnologia
54	Universidad Tecnológica de Altamira	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Altamira	Tamaulipas	http://www.utaltamira.edu.mx/tsu-en-nanotecnologia/
55	Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Cd. Juárez, Chihuahua	Chihuahua	https://www.utcj.edu.mx/Paginas/Carreteras/Ingenieria-en-Nanotecnologia.aspx
56	Universidad Tecnológica de Querétaro	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Querétaro, Querétaro	Querétaro	http://www.uteq.edu.mx/Aspirante/Default.aspx?gZsr=15
57	Universidad Tecnológica De Tecámac	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Tecamac, Estado de México	Estado de México	http://utecamac.edomex.gob.mx/sites/utecamac.edomex.gob.mx/files/files/TSU%20Nanotecnolog%C3%A1a%20C3%AFre%C3%A1a%20MATERIALES%20INT%20(1).pdf
58	Universidad Tecnológica De Tula-Tepej	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Tula, Hidalgo.	Hidalgo	http://www.utt.edu.mx/ProgramaEducativo/OfertaEducativa.html
59	Universidad Tecnológica Fidel Velázquez	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Estado de México	Estado de México	http://ufv.edomex.gob.mx/sites/ufv.edomex.gob.mx/files/files/Alumnos/Ofer%20Educativa/TSU%20Nanotecnologia.pdf
60	Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo	Universidades Tecnológicas	Técnico Superior	Gral. Escobedo, N.L.	Nuevo León	https://www.ute.edu.mx/?page_id=127

En alimentación y agricultura se ha escrito importante cantidad de artículos científicos. Una sistematización realizada por el proyecto se incluirá más adelante junto al capítulo sobre el tema.

Otra base bibliométrica elaborada, y que colocamos a continuación, es relativa a la nanoremediación de tóxicos efluentes de la explotación minera. Este avance constituye bibliografía general, y aún no se ha identificado si existe equivalente específico para México, pero en virtud de que el proyecto tiene miembros investigando en contaminación del agua en los jales mineros (Robles Berumen, 2022) y en los efectos en la salud de los habitantes de las comunidades aledañas a las minas en Zacatecas, fue importante tener una visión más global de las posibilidades que se está investigando de nanoremediación en el tema.

Bases de datos V

Ramírez Herrera, M. (2022). Nanoremediación de metales pesados en buscadores académicos de revistas científicas (2010-2021).

Nanoremediación de metales pesados en buscadores académicos de revistas científicas (2010-2021)

Mariana Ramírez Herrera¹⁵

La minería en México es una actividad económica importante y arraigada. En 2020, México se ubicó en las primeras 10 posiciones a nivel mundial en 15 metales, se situó como el mayor productor mundial de plata y el sexto de oro (SGM, 2021, p. 23). El impulso continuado a la minería en el estado de Zacatecas y las características geológicas de su territorio lo han consolidado como uno de los mayores centros mineros del país, primer productor de plata con un 34.1% del total para 2020, y, segundo productor nacional de oro con una participación de 21.9% del total. Zacatecas también es el primer productor de plomo y zinc de México con un 58.9% y un 42.6%, respectivamente (INEGI; 2022). Por su alta producción minera y los efectos de su explotación y beneficiado es probable que los suelos de varias regiones se encuentren contaminados.

La nanoremediación se ha convertido en una alternativa para la limpieza del ambiente, con posibilidades de prevención, detección, monitoreo y remediación de la contaminación por metales pesados, desechos radioactivos, de aguas residuales y manejo de residuos sólidos, entre otros (Bhandari; 2018, pp. 303-304). Por ello, es importante conocer los alcances y limitaciones de la nanoremediación, particularmente aquella empleada en la minería.

¹⁵ Posdoctoranda en la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas «Francisco García Salinas», México. Miembro del proyecto de investigación Conacyt-Ciencia de Frontera 2019 No. 304329.

Información sobre nanoremediación en revistas científicas (2010-2021) en buscadores académicos

Métodos de nanoremediación	Metal(es) a remediar	Residuos	Elemento a remediar			
		Jales	Agua	Suelo	Aire	
(nZVI)	Hg, Cd, Cr y Pb		X	X	X	
(nZVI)	As y Hg	X		X		
(nZVI)	As, Cu, Hg, Pb y Zn	X		X		
(nZVI)	Cr (VI)	X		X		
(nZVI)	No especifica		X	X		
Nanobiotechnology	Zn, As, Pb, Cr			X		
(nZVI)	Pb, Zn, Cd			X		
(nZVI)	Cd, Pb, Zn	X		X		
(nZVI)	As	X		X		
(nZVI), (nFeS) y magnetita (Fe ₃ O ₄)	As	X		X		
(nZVI) estabilizado con CMC (CMC-nZVI)	Cd, Pb, Zn	X		X		
Nanocompuestos de hormigón/maghemitita	As	X	X	X		
Nanomateriales	Cd, Cr y Pb	X		X		
Nanopartículas	Cr (VI)	X		X		
Nanomateriales hechos de carbono, Ti, Fe y Zr	As	X	X			
Nanopartículas	No especifica	X	X			
Nanopartículas de óxido de grafeno (nGOx)	As, Pb, Cu, Zn y Cd	X		X		
Compuestos a base de lantanidos	No especifica	X	X	X	X	
(nZVI)	As			X		
(nZVI) y nanotubos de carbono y nanofibras	No especifica	X	X	X	X	
Nanoarcillas	As	X	X			
Nanomateriales de carbono, sílice y a base de metal	Pb, Zn, Cr, Cu, Hg, As	X	X	X	X	
Nanomateriales	Hg, Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Cd, As		X	X		
Nanopartículas de TiO ₂	As	X		X		
óxidos metálicos nanoestructurados		X	X			
Remediación a base de fosfato	Pb (II), Cd (II), Zn (II) y Cu (II)	X	X	X		
Nanopartículas, biocarbón	No especifica			X		
(nZVI)	Pb y Zn	X		X		

(nZVI): Hierro de valencia cero a nanoescala.

(nFeS): Nanopartículas de Sulfuro de Hierro

Fuente: Mariana Ramírez Herrera, elaboración propia.

En el cuadro se revisan 28 artículos publicados entre 2010 y 2022, sobre diversos esquemas de nanoremediación utilizados para reducir la presencia de metales pesados en suelo y agua en el mundo

debido a los elevados costos ambientales y sanitarios derivados de la contaminación por elementos traza en altas concentraciones. El objetivo fue indagar sobre las líneas de investigación llevadas a cabo para facilitar posteriores estudios y su aplicación en México. La búsqueda se realizó entre agosto de 2021 y febrero de 2022 a partir de la Web of Science. Términos de búsqueda mediante el tema y título específico: nanoremediación/nanoremediation, así como el descriptor: en metales pesados o minería, desechando cualquier otro tipo de remediación y excluyendo información sobre otro tipo de contaminantes o desechos tóxicos.

Referencias

- Ahmed, T., Noman, M., Ijaz, M., Ali, S., Rizwan, M., Ijaz, U., Hameed, A., Ahmad, U., Wang, Y., Sun, G. & Li, B. (2021). Current trends and future prospective in nanoremediation of heavy metals contaminated soils: A way forward towards sustainable agriculture. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112888. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112888>
- Azari, P., & Bostani, A. (2017). Reducing As availability in calcareous soils using nanoscale zero valent iron. In: *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20438–20445. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9447-x>
- Azeez, N., Dash, S., Gummadi, S., & Deepa, V. (2021). Nano-remediation of toxic heavy metal contamination: Hexavalent chromium [Cr (VI)]. In: *Chemosphere*, Volume 266 (3). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129204>
- Baigorría, E., Cano, L. and Alvarez, V. (2021). Nanoclays as Eco-friendly Adsorbents of Arsenic for Water Purification. V. Kharissova *et al.* (eds.). In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Springer Nature Switzerland, 455–470. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_61
- Baragaño, D., Forján, R., Welte, L. & Gallego, J.L. (2020). Nanoremediation of As and metals polluted soils by means of graphene oxide nanoparticles. In: *Scientific Reports*, (10) 1896. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58852-4>
- Bhandari, G. (2018). Environmental Nanotechnology: Applications of Nanoparticles for Bioremediation. In: *Approaches in Bioremediation*. Aranda, E. & R. Prasad (eds.). Nanotechnology in the Life Sciences, 301–315. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02369-0_13
- Boente, C., Sierra, C., Martínez-Blanco, D., Menéndez-Aguado, J.M., & Gallego, J.R. (2018). Nanoscale zero-valent iron-assisted soil washing for the removal of potentially toxic elements. In: *Journal of Hazardous Materials*, (350), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.02.016>
- Borja-Borja, J.M., Heredia-Moyano, S., & Sáez-Paguay, M. (2020). Los nanomateriales y sus aplicaciones en la remediación ambiental. En: *Polo del Conocimiento*, 5(7), 338–370. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i7.1517>
- Cao, Y., Zhang, S., Zhong, Q., Wang, G., Xu, X., Li, T., Wang, L., Jia, Y., & Li, Y. (2018). Feasibility of nanoscale zero-valent iron to enhance the removal efficiencies of heavy metals from polluted soils by organic acids. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, (162), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.036>

- Chávez-Lizárraga, G. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. En: *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1):52-61.
- Das, P. (2018). Phytoremediation and Nanoremediation: Emerging techniques for treatment of acid mine drainage water. In: *Defence Life Science Journal*, Vol. 3, No. 2, 190-196. <https://doi.org/10.14429/dlsj.3.11346>
- Devarajan, T., Ahuja, V. and Sangeetha, J. (2021). Nanomaterials and Nanoprocesses for the Removal and Reuse of Heavy Metals. V. Kharissova *et al.* (eds.). In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Springer Nature Switzerland, 2649-2660. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_73
- Fajardo, C., Sánchez-Fortún, S., Costa, G., Nande, M., Botías, P., García-Cantalejo, J., Mengs, G., & Martín, M. (2020). Evaluation of nanoremediation strategy in a Pb, Zn and Cd contaminated soil. In: *Science of the Total Environment*, (3), 706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136041>
- Flores-Guía, T.E., Cano-Salazar, L.F., Martínez-Luévanos, A., & Claudio-Rizo, J.A. (2021). Manganese Oxides: Synthesis and Application as Adsorbents of Heavy Metal Ions. In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Kharissova O.V., Torres-Martínez L.M., Kharisov B.I. (eds.). Springer Nature Switzerland, 2409-2428. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_153
- Gil-Díaz, M.M., Rodríguez-Valdés, E., Alonso, J., Baragaño, D., Gallego, J.R., & Lobo, M.C. (2019). Nanoremediation and long-term monitoring of brownfield soil highly polluted with As and Hg. In: *Science of the Total Environment*, (675), 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.183>
- Gil-Díaz, M.M., Pérez-Sanz, A., Vicente, M.A., & Lobo, M.C. (2014). Immobilisation of Pb and Zn in soils using stabilised zero-valent iron nanoparticles: Effects on soil properties. In: *CLEAN Soil, Air, Water*, 42(12), 1776-1784. <https://doi.org/10.1002/clen.201300730>
- Hernández-Flores, H., Pariona, N., Herrera-Trejo, M., Hernández-García, H.M., Martínez-Enriquez, A.I. (2018). Concrete/maghemite nanocomposites as novel adsorbents for arsenic removal. In: *Journal of Molecular Structure*, 1171, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.05.078>
- Hinojosa-Reyes, L., Hernández-Ramírez, A., Hinojosa-Reyes, M. and Rodríguez-González, V. (2021). Nanomaterials for Arsenic Remediation with Boosted Adsorption and Photocatalytic Properties. In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Kharissova O.V., Torres-Martínez L.M., Kharisov B.I. (eds.). Springer Nature Switzerland, 2681- 2722. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_78
- Huang, D., Xue, W., Zeng, G., Wan, J., Chen, G., Huang, C., Zhang, C., Cheng, M., & Xu, P. (2016). Immobilization of Cd in river sediments by sodium alginate modified nanoscale zero-valent iron: Impact on enzyme activities and microbial community diversity. In: *Water Research*, (106), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.09.050>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). Industria minerometalúrgica -1980 en adelante. Producción Minera por Entidades Federativas y Municipios. México. Recuperado el 20 de abril de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/programas/indminero/#Tabulados>
- Luo, T., Yang, C., Tian, X., Luo, W., Nie, Y., & Wang, Y. (2021). Application of Iron Oxide Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals. In: *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and*

- Environmental Applications. Kharissova O.V., Torres-Martínez L.M., Kharisov B.I. (eds.), Springer Nature Switzerland, 2067–2091. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36268-3_76
- Marcon, L., Oliveras, J., & Puentes, V. F. (2021). In situ nanoremediation of soils and groundwaters from the nanoparticle's standpoint: A review. In: *Science of the Total Environment*. Elsevier, (791), 148324. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148324>
- Martínez-Orozco, R.D. (2013). Understanding the adsorptive and photoactivity properties of Ag-graphene oxide nanocomposites. In: *Journal of Hazardous Materials*, 263, 52–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.056>
- Nicomel, N. R., Leus, K., Folens, K., van der Voort, P., & du Laing, G. (2016). Technologies for arsenic removal from water: Current status and future perspectives. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 13 (62), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010062>
- SGM. (2021). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2020. Secretaría de Economía. México, 429 pp.
- Shi, Z., Fan, D., Johnson, R. L., Tratnyek, P. G., Nurmi, J. T., Wu, Y., & Williams, K. H. (2015). Methods for characterizing the fate and effects of nano zerovalent iron during groundwater remediation. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol. 181, 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.03.004>
- Su, H., Fanga, Z., Pokeung, E.T., Zheng, L., Cheng, W., Fanga, J. & Zhao, D. (2016). Remediation of hexavalent chromium contaminated soil by biochar-supported zero-valent iron nanoparticles. In *Journal of Hazardous Materials*, 318. 533–540. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.039>
- Wang, Y., Fang, Z., Kang, Y., & Tsang, E. P. (2014). Immobilization and phytotoxicity of chromium in contaminated soil remediated by CMC-stabilized nZVI. *Journal of Hazardous Materials*, (275), 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.056>
- Yang, D., Wang, R., Feng, X., Chu, Z., Li, J., Wei, W., Zheng, R., Zhang, J. and Chen, H. (2022). Transferring waste red mud into ferric oxide decorated ANA-type zeolite for multiple heavy metals polluted soil remediation. In: *Journal of Hazardous Materials* 424, 127244. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127244>
- Ye, S., Zeng, G., Wu, H., Zhang, C., Dai, J., Liang, J., Yu, J., Ren, X., Yi, H., Cheng, M., & Zhang, C. (2017). Biological technologies for the remediation of co-contaminated soil. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 37 (8), 1062–1076. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1304357>
- Zhang M. Y., Wang Y., Zhao, D. Y., & Pan, G. (2010). Immobilization of arsenic in soils by stabilized nanoscale zero-valent iron, iron sulfide (FeS), and magnetite (Fe₃O₄) particles. *Chinese Science Bulletin*, 55(4). 365–372. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0703-4>

El siguiente es un trabajo en elaboración sobre nanofiltración en el tratamiento de drenajes de la minería.

Artículos de investigación y capítulos de libro II

Robles Berumen, R. & Foladori, G. (2022). Aplicaciones de la nanoadsorción y nanofiltración en el tratamiento del drenaje ácido de mina (en dictaminación).

Resumen

El drenaje ácido de mina (DAM) es uno de los impactos ambientales más importantes en las operaciones mineras. Generalmente, este contaminante es tratado a través de métodos convencionales como la neutralización y la estabilización con hidróxidos que generan grandes cantidades de residuos. Pocas veces ha sido visto como una fuente de recursos donde se pudiera extraer ácido sulfúrico, diversos metales, tierras raras y agua. Los tratamientos emergentes basados en nanoadsorción y nanofiltración podrían ayudar a acrecentar esta concepción. A pesar de que la nanotecnología en la actualidad presenta grandes avances, estos métodos aún se encuentran en vías de desarrollo muy por debajo de las tecnologías de explotación de minerales. Su oferta en los mercados es limitada debido a sus altos costos, algunas fallas técnicas y a que la minería se encuentra enfocada en reducir sus costos operacionales más que remediar sus impactos. Además de que las legislaciones ambientales todavía no impulsan la aplicación de estas nuevas tecnologías que prometen grandes beneficios para el ambiente. El presente artículo realiza una revisión del estatus actual de la nanoadsorción y la nanofiltración en el tratamiento de DAM, tecnologías que frecuentemente requieren ser acompañadas de otras técnicas convencionales para la recuperación total de los recursos inmersos en este contaminante.

Producción

En relación a la producción con nanotecnologías en México, el proyecto ha generado tablas de empresas que producen con nanotecnología, agrupadas según la clasificación sectorial de las Naciones Unidas, y las ha localizado geográficamente en mapas correspondientes. Este esfuerzo recoge una actualización de un proceso de seguimiento realizado por la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad desde años atrás, que no se restringe a México. La información recopilada y sistematizada por Edgar Arteaga-Figueroa puede verse en el siguiente documento en relación a México, y en las referencias en lo que atañe a otros países (E.R. Arteaga Figueroa, 2022b, 2022b, 2022a); y otros documentos sobre las empresas y su relación en las cadenas de producción (E. Arteaga Figueroa *et al.*, 2022).

Bases de datos VI

Arteaga Figueroa, E. (2022). Mapas de nanotecnologías en México, Argentina y Colombia. Metodología. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 304320

Mapas de nanotecnologías en México, Argentina y Colombia. Metodología

Edgar Arteaga Figueroa

A inicios del siglo XXI varios países de América Latina comenzaron a establecer mecanismos para investigar y desarrollar nanotecnologías. Sin embargo, la gran mayoría todavía no cuentan con un inventario nacional que identifique empresas, productos y sectores económicos de aplicación de nanotecnologías. Dada la importancia estratégica del tema, científicos y académicos han comenzado a trabajar sobre esta tarea. La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS), a través del proyecto Ciencia de Frontera 304320, realizó una georreferenciación de las empresas que fabrican, implementan y comercializan nanotecnologías en México, Argentina y Colombia.

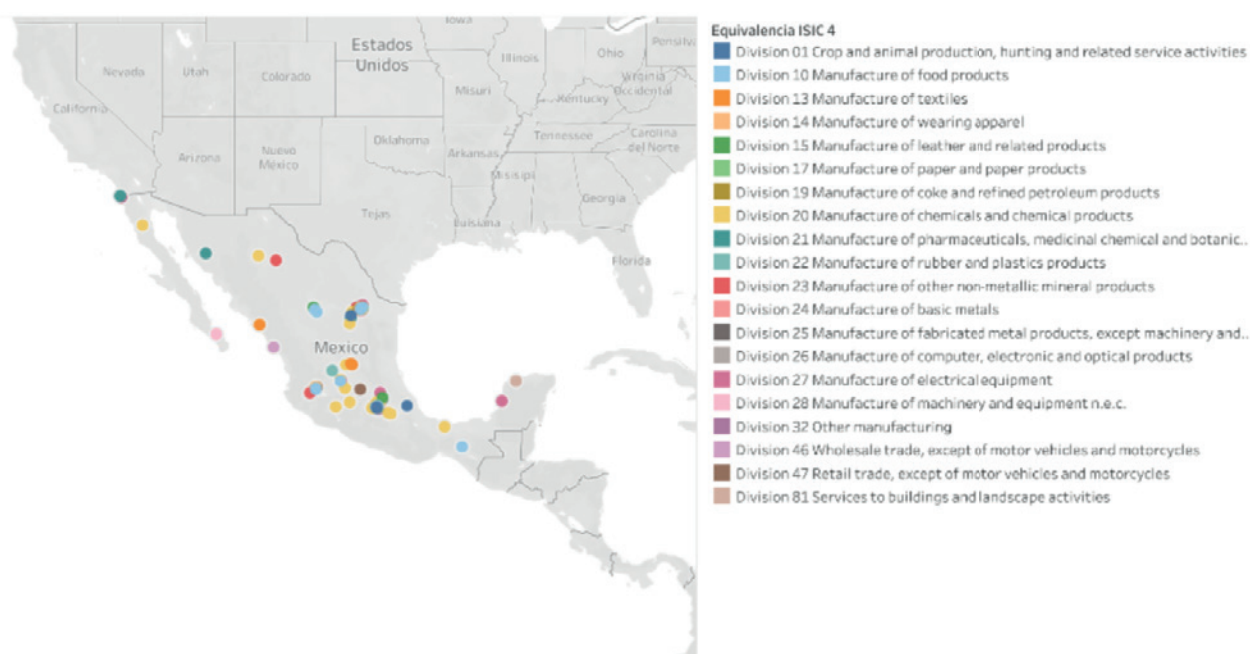
A partir de distintos relevamientos hechos por miembros de la ReLANS (Appelbaum *et al.*, 2016; Berger *et al.*, 2021; Bermúdez *et al.*, 2018; Foladori *et al.*, 2018), se obtuvo información para realizar un mapeo de empresas que fabrican o comercializan nanomateriales y productos nanohabilitados en los países mencionados. El resultado son tres mapas interactivos, elaborados en el *software* Tableau Public, que se pueden consultar en la página web de la ReLANS (<https://relans.org/>). La información provino de distintas fuentes: proyectos financiados con recursos públicos (informes de Conacyt, Conicet); anuncios públicos (radio, tv, internet); páginas web de empresas; parques científicos especializados y boletines de prensa.

Al elaborarlos se partió de identificar el principal producto nanohabilitado que las empresas colocaron en el mercado para localizarlo en la Clasificación Central de Productos (CPC). Posteriormente, se realizó una clasificación económica-sectorial de las compañías, a partir de la equivalencia entre la CPC y la cuarta revisión del Sistema de Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (ISIC-4), de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Toda esta información se puede visualizar por empresa en cada mapa y, además, en los casos de México y Argentina, se estableció una diferenciación entre empresas que poseen producción nacional y aquellas que se dedican únicamente a la importación y comercialización de productos nanohabilitados.

Referencias

Appelbaum, R., Záyago Lau, E., Foladori, G., Parker, R., Villa, L., Robles-Belmont, E., & Arteaga Figueroa, E. (2016). Inventory of nanotechnology companies in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(43), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3344-y>

- Berger, M., Carrozza, T., & Bailo, G. (2021). *Nanotecnología y sociedad en Argentina. Para una agenda inter y transdisciplinaria* (1a ed., Vol. 1). Centro Latinoamericano de Formación Interdisciplinaria.
- Bermúdez, J., Cuéllar, F., Duarte, Á., Herrera, Ó., Osma, J., & Záyago Lau, E. (2018). Inventario de empresas nanotecnológicas en Colombia. En G. Foladori, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia), Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad, & RedNano Colombia (eds.), *Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina: Argentina, Brasil, Colombia y México* (Primera edición, pp. 125-135). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería: ReLANS, Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad: RedNano Colombia, Red Colombiana de Nanociencia y Nanotecnología.
- Foladori, G., Záyago Lau, E., Carrozza, T., Appelbaum, R., Villa, L., & Robles Belmont, E. (2018). Empresas de nanotecnología en Argentina y su lugar en la cadena de producción. En G. Foladori, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia), Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad, & RedNano Colombia (eds.), *Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina: Argentina, Brasil, Colombia y México* (Primera edición). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería: ReLANS, Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad: RedNano Colombia, Red Colombiana de Nanociencia y Nanotecnología.



Artículos de investigación y capítulos de libro III

Arteaga Figueroa, E., García, A., & Foladori, Guillermo. (2022). Methodological approach to the review of nanotechnology production chains in Mexico. In K. Irday Delmir & P. Zülfigarova (eds.), Cukurrova 8th International Scientific Researches Conference. Full Texts Book (Vol. 2, pp. 1245–1252). IKSAD. https://en.iksadkongre.net/_files/ugd/614b1f_80b32331a47a4f3cb74324331a9d8a53.pdf

Resumen

Since the beginning of this century, nanomaterials have been fabricated and applied in devices and final products, almost without restrictions, regarding their new functionalities. A methodology to identify companies and its outcome in a sectorial economic list was carried out to analyze nanotechnology companies in Mexico. The research was divided into two stages. The first one was the elaboration of a path for an exhaustive search of companies from different sources, which ended up in an inventory of companies that manufacture or sell nanoenabled products in Mexico. In addition, geographical location of the company was obtained through the address of its central offices in Mexico. This allowed to establish a distinction between companies that carry out «national production» and those that «import and retail within the country». The second stage assigned each company a sectorial economic classification, taking as a starting point the Central Product Classification System (CPC), from the United Nations (UN). Due to the great diversity of products found, equivalence was established between the CPC and the fourth revision of the International Standard Industrial Classification System for all economic activities (ISIC 4). When the concordance between CPC-ISIC 4 was applied, it was possible to establish an equivalence of these products with those of the ISIC divisions, helping a simplified economic classification in just over twenty sectors. The information allowed us to locate companies into a production chain distinguishing nanomaterials from nanointermediate products, from nanoenabled final goods, and from nanotools.

Artículos de investigación y capítulos de libro IV

Arteaga Figueroa, E., Ortiz-Espinoza, Á., & Foladori, Guillermo. (2022). Empresas nanotecnológicas en México: frente a la necesidad de un inventario nacional (en dictaminación).

Resumen

Las nanotecnologías implican la manipulación de la materia a una escala aproximada de entre 1 y 100 nanómetros. A esta magnitud, las propiedades de los materiales cambian significativamente, lo que posibilita una gran variedad de aplicaciones industriales novedosas. Desde inicios de este siglo los nanomateriales se aplican en dispositivos y productos finales, prácticamente sin restricciones. Algunos países desarrollados comenzaron a exigir registros de empresas que importan, fabrican o

comercializan productos nanohabilitados. En el caso de México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ha realizado proyecciones oficiales que contabilizan poco más de un centenar de compañías. En esta investigación se realizó un inventario propio, con la finalidad de identificar a las empresas que efectivamente incorporan nanotecnologías al interior del país.

Se obtuvo la distribución geográfica de las empresas y, una vez localizadas, se les asignaron sectores económicos de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (ISIC 4) de todas las actividades económicas. Los resultados indican que en el país existen al menos 138 empresas concentradas en las regiones metropolitanas más importantes. Impulsar un registro obligatorio de empresas que utilizan nanomateriales o venden productos nanohabilitados es clave en la creación e implementación de una política pública de nanotecnologías.

Políticas públicas

Con relación a las políticas públicas se ha sistematizado y clasificado información sobre proyectos de investigación financiados por diferentes órganos gubernamentales, (Ortiz-Espinoza *et al.*, 2021); y tablas sobre los estándares mexicanos que incluimos más adelante en el apartado sobre gobernanza y regulación (Anzaldo Montoya, 2022).

Artículos de investigación y capítulos de libro V

Ortiz Espinoza, Á., Foladori, Guillermo, & Záyago Lau, E. (2022). Financiamiento público para nanotecnologías: el caso de Fomix y Fordecyt (*Revista Legislativa Cesop. aprobado*).

Gobernanza y regulación

En páginas anteriores habíamos destacado la distinción que aquí establecemos entre gobernanza que puede incluir las normas voluntarias, y regulación obligatoria. Estas diferencias aparecen en las políticas sobre nanotecnologías. A seguir se incluye un capítulo de libro sobre la regulación de las nanotecnologías a nivel mundial y particularmente en la Unión Europea que es, tal vez, la región más avanzada en el tema; luego un artículo sobre la gobernanza en nanomedicina, en el que a partir del análisis bibliométrico se enfatizan las principales preocupaciones de los autores en el tema, asimismo aducen el riesgo y las controversias éticas. Este apartado termina con las normas voluntarias —también llamados estándares— ISO en nanotecnología. El primero con referencia a las normas de la propia organización ISO, el segundo es específico para la traducción de algunas de aquellas normas internacionales a la normativa mexicana. Podría mencionarse que las normas son elaboradas por el CTNN, es una instancia totalmente reconocida por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía y es quien tiene la facultad para elaborar las normas voluntarias en la materia y publicarlas en el Diario Oficial de la Federación. Por último, se agrega un cuadro con la lista de las normas ISO que es de utilidad para otras investigaciones y reflexiones sobre el tema.

Artículos de investigación y capítulos de libro VI

Foladori, G. (2021). La regulación de las nanotecnologías. In 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* (1st ed., pp. 197–215). Aranzadi Thomson Reuters, Pamplona. https://www.researchgate.net/publication/361710281_La_regulacion_de_las_nanotecnologias

Resumen

Luego de dos décadas de ingreso al mercado de productos con nanopartículas y nanoestructuras su reglamentación es incipiente, en pocos países y restringiéndose al etiquetado de algunos rubros e información precomercialización. Continúa la gran paradoja consistente en que la mayoría de las sustancias químicas nanométricas entran al mercado sin regulación, y sólo cuando surgen fuertes indicios de su potencial toxicológico comienzan a estudiarse, tal como ha sucedido en casos de nanotubos de carbono o dióxido de titanio. Este capítulo muestra la contradicción entre las dos metodologías de análisis de la toxicidad de los químicos: el Análisis de Riesgo Regulatorio y el Principio de Precaución; y la expresión más avanzada de la regulación de las nanotecnologías que se da en la Unión Europea, y pequeños avances en los Estados Unidos. América Latina, a diferencia, no ha encaminado la regulación en ningún país, antes bien, ha dejado en manos del ámbito corporativo el desarrollo de normativas voluntarias.

Artículos de investigación y capítulos de libro VII

Anzaldo Montoya, M. & Tanaka, L.S. (2022). Presentación. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e–12e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69712>

Resumen

El presente número de *Mundo Nano* está dedicado al asunto de la gobernanza, las políticas públicas y la regulación de las nanociencias, la nanotecnología y sus productos. El número cuenta con textos que analizan la situación de las nanotecnologías en seis países de la región: Argentina, Brasil, Costa Rica, México, Uruguay y Venezuela. El lector encontrará dos textos sobre gobernanza, uno con énfasis en nanomedicina y otro en el aspecto laboral; de regulación también hay textos sobre las experiencias brasileña y argentina. Dos textos que analizan las políticas públicas, uno para el caso en México, y aspectos de innovación de Costa Rica, Uruguay y Venezuela, tres países donde el tema de la nanotecnología es emergente.

Artículos de investigación y capítulos de libro VIII

Soto-Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L.A. (2021). Gobernanza de la nanomedicina: Una revisión sistemática. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e-25e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682>

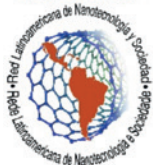
Resumen

La nanomedicina (la aplicación de la nanotecnología en medicina) está revolucionando el diagnóstico, tratamiento y control de enfermedades. Aunque es cierto que esta ha generado importantes beneficios desde el punto de vista médico, existen riesgos toxicológicos, ambientales, éticos y sociales que deben ser analizados. La gobernanza, entre otras cosas, abarca la gestión de riesgos y beneficios de las nuevas tecnologías, por lo que puede aplicarse en nanomedicina para el análisis de riesgos. El objetivo de este artículo es mostrar un panorama de la gobernanza de la nanomedicina a través de una revisión sistemática de la literatura científica. La metodología empleada consistió en los siguientes pasos: 1) búsqueda de artículos en las bases de datos de Scopus, Web of Science y Scielo; 2) limpieza de resultados; 3) obtención de datos altmétricos de la plataforma Dimensions; 4) descarga y lectura de los artículos, y, 5) análisis crítico de los artículos. Como resultado se identificaron deficiencias regulatorias y preocupaciones éticas vinculadas con los productos nanomédicos, pero también se encontraron propuestas para evaluar riesgos y abordar aspectos éticos. Se concluye que, aunque ha habido progresos en la evaluación de riesgos, aún existen asuntos pendientes en materia de regulación.

Boletín I

Anzaldo Montoya, M. & Foladori, G. (2022). Los estándares internacionales para las nanotecnologías como instrumento de gobernanza global. *Boletines. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt*, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Gobernanza-global-Normas-ISO-Monica-28-enero.pdf>

ReLANS



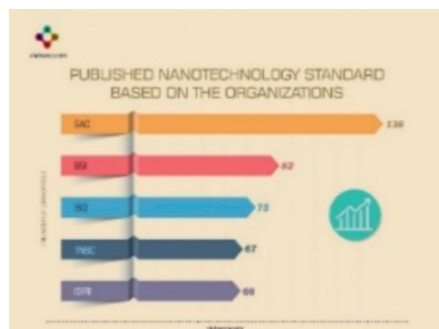
Los estándares internacionales para las nanotecnologías
como instrumento de gobernanza global
Mónica Anzaldo Montoya y Guillermo Foladori

Mientras algunas regiones y países comienzan tímidamente a reglamentar las nanotecnologías (*e. g.* Unión Europea, China, Estados Unidos) los países de América Latina no han avanzado en este aspecto. Por el contrario, varios países como México, Costa Rica, Brasil, Argentina, o Chile, han delegado en organizaciones privadas o semi privadas las riendas de establecer estándares para productos y procesos, y elaborar documentos técnicos que sean *voluntariamente aceptados* por la industria. La ISO (International

Organization for Standardization) es una organización internacional que elabora estándares voluntarios para influenciar a los gobiernos que, en el caso de imponer regulaciones obligatorias, se basen en sus criterios.¹⁶ Este tipo de organización internacional, al igual que la OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) se creó con el objetivo de promover el libre comercio y reducir barreras comerciales. Son organizaciones que responden a intereses corporativos y de países con principios políticos acordes. Uno de los temas que la ISO trata es la armonización de criterios internacionales para facilitar el comercio de sustancias químicas; un capítulo son los nanomateriales.



Armonizar criterios entre países y sectores sociales no es simple. En las sustancias químicas —y en los nanomateriales— hay que negociar entre diferentes participantes para coincidir en muchísimas variables, por ejemplo para estimar riesgos, como las cantidades de exámenes a realizar, el tipo de técnica y equipos, los niveles de exposición estimados, los umbrales de toxicidad aceptables, el tipo de propiedades de la sustancia a analizar, el tipo de investigación científica a considerar como válida dentro de la literatura sobre el tema, y muchos etcéteras; por esta razón la esencia de los trabajos de normalización dentro de la ISO lleva a que los estándares tiendan a las mínimas exigencias para llegar a acuerdos.



La ISO creó el Comité Técnico 229 (ISO TC-229) dedicado a nanotecnologías en 2005, y ha publicado a la fecha al menos 97 estándares en temas relacionados con terminología y nomenclatura,

¹⁶ OECD & ISO. (2017). *ISO 26000 and OECD Guidelines. Practical overview of the linkages*. ISO. <https://www.iso.org/publication/PUB100418.html>; OECD/ISO. (2016). *International Regulatory Co-operation and International Organisations: The Case of the International Organization for Standardization (ISO)*. https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/ISO_Full-Report.pdf

mediciones y caracterizaciones, ambiente y salud. Los estándares que tratan cuestiones de riesgo a la salud y el ambiente de nanotecnologías comenzaron en 2011, y a la fecha son más de 20. Ellos proporcionan especificaciones, guías y reportes técnicos para evaluar la toxicidad de algunos nanomateriales, la gestión de riesgo en los espacios de trabajo donde se manipulan nanomateriales, la información que se proporciona al consumidor a través de hojas de seguridad, y el etiquetado de productos de consumo final, entre otros.

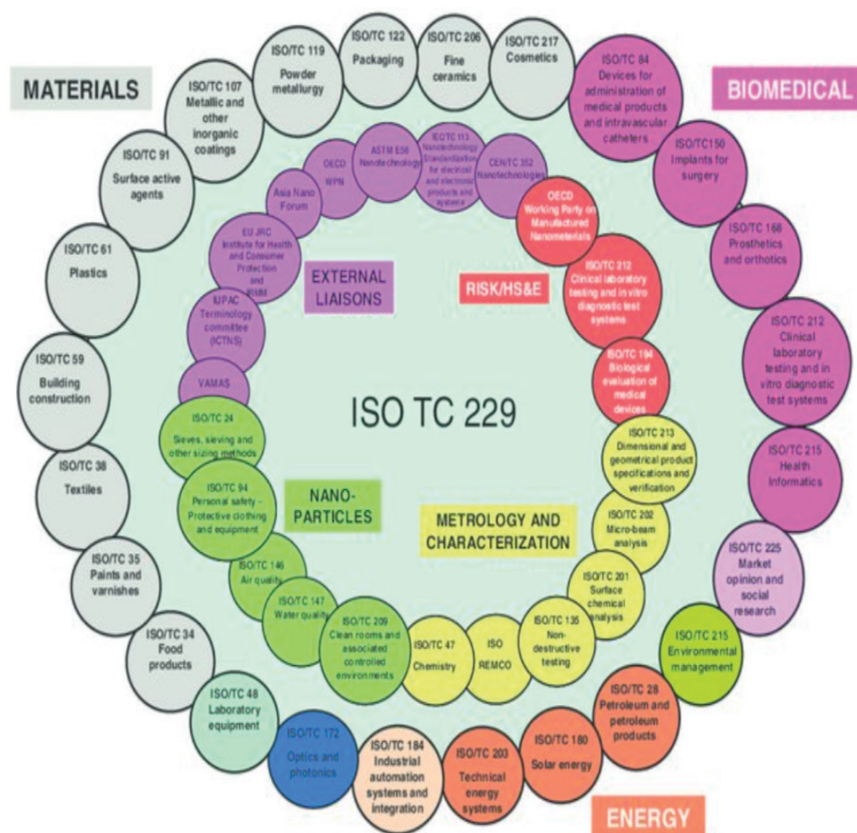
La imagen que ofrece la ISO es que, aplicando esos estándares, los productos serán seguros; algo ampliamente cuestionado por ambientalistas y científicos críticos, ya que en todo estándar y tecnología el peso de la ideología y la política canaliza los esfuerzos científicos hacia determinados intereses.¹⁷ Algunos países apoyan la armonización internacional conociendo por experiencia que siempre será menos exigente y costosa que una posible reglamentación nacional impulsada por fuerzas más progresistas. Algunas corporaciones apoyan esos estándares a sabiendas que las tecnologías aceptadas no las pueden compartir pequeñas y medianas industrias que se fragilizan consecuentemente. Muchos sindicatos se oponen a estos estándares considerando que rebasan y compiten con otros con participación sindical en su formulación más sustantiva; aunque es común que los trabajadores no sean informados de las características y riesgos de los nanomateriales.

El comité central de la ISO elige la empresa privada o asociación público-privada que puede representarla en cada país. Los comités nacionales pueden presentar pequeñas diferencias en la actuación frente a la ISO global. En América Latina varios países ya tienen su comité nacional de estándares equivalentes y han comenzado a emitir normas nacionales sobre nanotecnologías. Brasil, México, Colombia y Perú son miembros plenos del comité de nanotecnología de la ISO, y Argentina observador. En Brasil la representa la ABNT, en Colombia el Icontec; en México el CENAM, en Argentina el IRAM, en Perú el Inacal, en Costa Rica Inteco, en Chile el INN.

Las agencias de ISO en cada país son responsables de otorgar certificaciones a aquellas empresas que cumplen con las recomendaciones. No obstante, ha habido estudios que muestran que algunas o muchas empresas pueden utilizar el certificado ISO con fines propagandísticos y de competitividad sin necesariamente cumplir con el espíritu de los estándares, haciéndolo de forma simbólica.¹⁸

¹⁷ Lanier-Christensen, C. (2021). Creating Regulatory Harmony: The Participatory Politics of OECD Chemical Testing Standards in the Making. *Science, Technology, & Human Values*, 46(5), 925–952. <https://doi.org/10.1177/01622439211029369>

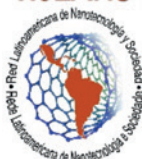
¹⁸ Ferrón Vélchez, V. (2017). The dark side of ISO 14001: The symbolic environmental behavior. *European Research on Management and Business Economics*, 23(1), 33–39.



Boletín II

Anzaldo Montoya, M. (2022). La ISO y las nanotecnologías en México. Una gobernanza subordinada. Boletines. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/ISO-Mex-02-feb22.pdf>

ReLANS



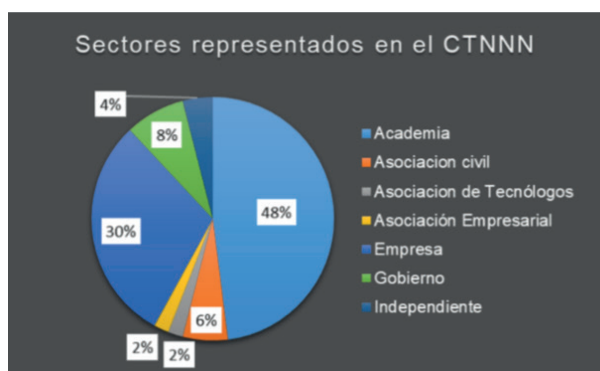
La ISO y las nanotecnologías en México.
Una gobernanza subordinada
Mónica Anzaldo Montoya, febrero 2022

La Organización Internacional de Estándares (ISO por sus siglas en inglés) estableció el Comité Técnico ISO TC 229 dedicado a producir estándares internacionales para las nanotecnologías en 2005.¹⁹ Esto sucedió un año después de la publicación del influyente reporte *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties* de la Royal Society & Royal Academy of Engineering del Reino Unido, que mostró el consenso entre la comunidad científica de la existencia de *nuevos riesgos para la salud humana y el ambiente* derivados de nanomateriales.

¹⁹ Boletín: Los estándares internacionales para las nanotecnologías como instrumento de gobernanza global.

La creación del ISO TC 229 proporcionó un espacio para que la gobernanza global de las nanotecnologías se trasladara al terreno de lo técnico, donde la toma de decisiones se dirime entre expertos. Una gobernanza basada en aspectos técnicos clausura la participación de sectores que no cuentan con conocimiento especializado, reduciendo la transparencia en las decisiones. Además, la toma de decisiones en organismos internacionales favorece a las grandes empresas y corporaciones que cuentan con personal capacitado para redactar los estándares y defender sus intereses.

El caso de México es ilustrativo. México ha formado un comité para establecer estándares voluntarios para las nanotecnologías. Es un camino de *gobernanza subordinada* dadas las indicaciones de la ISO global, las limitaciones nacionales (voluntad política, interés gubernamental en determinada tecnología), y las relaciones globales asimétricas con respecto al desarrollo y comercialización de nuevas tecnologías.²⁰ Como resultado, los estándares diseñados por organismos o tratados internacionales como la ISO, la OCDE o el T-MEC se replican sin considerar las necesidades nacionales. Las normas para nanotecnologías publicadas en México se corresponden con las ISO internacionales.



México adoptó los estándares de las nanotecnologías en 2013, cuando la Secretaría de Economía absorbió los trabajos de normalización que venía desarrollando el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. —una organización privada— y, en su lugar, creó el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías (CTNNN) bajo la coordinación del Centro Nacional de Metrología (CENAM). Si bien esta decisión pudo ser motivada por la creciente importancia de las nanotecnologías como instrumento de competitividad, México forma parte de organizaciones internacionales y tratados de libre comercio que favorecen la autorregulación voluntaria. El CTNNN tiene la facultad para generar normas mexicanas —pues se rige por la Ley de Infraestructura de la Calidad que así lo permite— pero sigue la agenda de normalización del ISO TC 229 global. A la fecha, México ha publicado 19 estándares voluntarios en temas relacionados con terminología, nomenclatura, medición, caracterización de propiedades físicas, químicas y toxicológicas de nanomateriales.²¹

²⁰ Anzaldo Montoya, M., & Chauvet, M. (2016). Technical standards in nanotechnology as an instrument of subordinated governance: Mexico case study. *Journal of responsible innovation*, 3(2), 135-153.

²¹ Los estándares están disponibles en: <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/index.xhtml>



En materia ambiental y de protección a la salud se han publicado cinco estándares que abordan protocolos sobre riesgo ocupacional y recomendaciones para el etiquetado de productos que contienen nanomateriales (cuadro). Es posible cuestionar al menos dos aspectos. Por un lado, su legitimidad, ya que éstos no fueron discutidos a profundidad con trabajadores y sus representantes, ni con organizaciones de consumidores. Por otro lado, su funcionalidad, porque al ser voluntarios no es seguro que represente mejora, o para quién.

Estándares para las nanotecnologías en México relacionados con aspectos socioambientales

Diario Oficial de la Federación	Estándar	Campo de aplicación
01 febrero 2017	NMX-R-12901-1-Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 1: principios y enfoques	Orientación sobre medidas de seguridad relativas a nanomateriales manufacturados, incluyendo controles de ingeniería y equipo de protección personal, orientación sobre el control de derrames y escapes accidentales, y orientación sobre el manejo apropiado de estos materiales en su eliminación.
25 septiembre 2019	NMX-R-12901-2-Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 2: uso del enfoque de control por bandas	Describe el uso de un enfoque de control por bandas para riesgos asociados con exposiciones ocupacionales a nano-objetos, y sus agregados y aglomerados mayores a 100 nm (NOAA), incluso si el conocimiento de su toxicidad y cálculos de exposición cuantitativa es limitado o inexistente.
03 junio 2020	NMX-R-13121 Evaluación de riesgos en nanomateriales	Proceso para identificar, evaluar, abordar, tomar decisiones y comunicar riesgos potenciales del desarrollo y uso de nanomateriales manufacturados, con el fin de proteger la salud y la seguridad del público, los consumidores, los trabajadores y el medio ambiente.
11 agosto 2015	NMX-R-13830 Guía para el etiquetado de nano-objetos manufacturados y de productos que contengan nano-objetos manufacturados	Orientación sobre las medidas de seguridad en el etiquetado, incluyendo el uso de controles de ingeniería y equipo de protección personal, la orientación sobre el control de derrames y escapes accidentales, y orientación sobre el manejo apropiado de estos materiales en su eliminación.
03 junio 2020	NMX-R-16197 Compilación y descripción de métodos de detección toxicológica para nanomateriales manufacturados	Recopilación y descripción de métodos <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> útiles para el examen toxicológico, incluida la detección ecotoxicológica de los nanomateriales manufacturados.

Fuente: elaboración propia con información del Sistema Integral de Normas:
<https://www.sinec.gob.mx/SINEC/index.xhtml>

Fortalecer los instrumentos de la discusión pública y sectorial sobre los temas científicos y tecnológicos, entre ellos las nanotecnologías, es una agenda pendiente.

Bases de datos VII

Anzaldo Montoya, M. (2022) Estándares o normas voluntarias ISO para nanotecnologías.

Estándares o normas voluntarias ISO para nanotecnologías

Sistematizado por Mónica Anzaldo Montoya y Sein León-Silva

La ISO (Organización Internacional de Estándares) define estándar como un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que prevé un uso común y repetido de reglas, lineamientos o características para actividades o sus resultados encaminados a lograr el grado óptimo de orden en un contexto determinado (ISO/IEC Guide 2:2004) (ISO, 2014).

En México las normas para las nanotecnologías son de carácter voluntario y las elabora el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías (CTNNN) el cual es coordinado por la Secretaría de Economía en conjunto con el Centro Nacional de Metrología (CENAM), organismo descentralizado del gobierno federal.

Normas Mexicanas (NMX) para las nanotecnologías relacionadas
con aspectos de ambiente, salud y seguridad

Item	Estándar	Nombre de la norma	Año de publicación
1	NMX-R-13830-SCFI-2014 NMX-R-13830-SCFI-2020	Guía para el etiquetado de nano-objetos manufacturados y de productos que contengan nano-objetos manufacturados.	2015 Revisada y publicada en 2022
2	NMX-R-12901-1-SCFI-2015 NMX-R-12901-1-SCFI-2020	Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 1: principios y enfoques	2017 Revisada y publicada en 2022
3	NMX-R-12901-2-SCFI-2016	Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 2: uso del enfoque de control por bandas	2019
4	NMX-R-13121-SCFI-2019	Evaluación del riesgo de nanomateriales	2020
5	NMX-R-16197-SCFI-2019	Compilación y descripción de métodos de detección toxicológica para nanomateriales manufacturados	2020

Normas Mexicanas (NMX) para las nanotecnologías relacionadas con terminología, mediciones, caracterización y especificación de nanomateriales

Item	Estándar	Nombre de la norma	Año de publicación
1	NMX-R-10867-SCFI-2014	Caracterización de nanotubos de carbono de una capa (NTCUC) mediante espectroscopia de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano (EFL-IRC)	2014
2	NMX-R-10929-SCFI-2014	Caracterización de muestras de nanotubos de carbono de múltiples capas (NTCMC)	2014
3	NMX-R-27687-SCFI-2014 NMX-R-80004-2-SCFI-2020	Terminología y definiciones para nano-objetos-nanopartícula, nanofibra y nanoplaca	2014 Revisada y publicada en 2022
4	NMX-R-62622-SCFI-ANCE-2014 NMX-R-J-62622-SCFI-ANCE-2020	Descripción, medición y parámetros de calidad dimensional de rejillas artificiales	2015 Revisada y publicada en 2022
5	NMX-R-80004-1-SCFI-2014 NMX-R-80004-1-SCFI-2020	Vocabulario-parte 1: conceptos básicos	20/oct/2014 Revisada y publicada en 2022

Existen también iniciativas y políticas sectoriales tanto públicas como privadas, que intervienen en la gobernanza en países o regiones. En México, por ejemplo, además de lo mencionado en los boletines anteriores, existen varias corporaciones transnacionales que tienen sus códigos de conducta voluntarios específicos para las nanotecnologías, como la Bayer o la Basf (BASF, 2008; BAYER, 2007). A nivel público, el gobierno mexicano ha elaborado lineamientos voluntarios para las empresas siguiendo las recomendaciones de los Estados Unidos, y para facilitar el comercio en el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (Foladori & Záyago Lau, 2014). El gobierno también participa de instituciones internacionales que incluyen capítulos de lineamientos voluntarios sobre nanotecnologías o presionan para una cierta orientación, como la OCED, o mesas de discusión, como la Organización Internacional del Trabajo, el Saicm (Strategic Approach to International Chemicals Management), o la Organización de Estados Americanos (Foladori, 2009, 2015, 2017). Otro agente que debe considerarse son las organizaciones sociales y sindicatos que se han pronunciado sobre las nanotecnologías y tienen representantes en varios países, como ha sido el caso de organizaciones mexicanas representadas en la declaración sobre nanotecnologías de decenas de ONG y sindicatos o del ETC group (ETC group, 2003; NanoAction, 2007). En términos sectoriales algunos gobiernos estatales de México han tenido políticas específicas para impulsar las nanotecnologías (Záyago Lau, 2011). Todos los ejemplos anteriores forman parte de lo que se conoce como gobernanza, y aunque no son regulaciones oficiales y obligatorias pueden llegar a cumplir un papel político importante en la orientación del desarrollo de las nanotecnologías en el país.

La distinción entre regulación obligatoria y normas o lineamientos voluntarios, que aquí utilizamos, no siempre es clara para los investigadores. En gran medida porque las instituciones que

establecen normas voluntarias son muchas veces asociaciones público-privadas, lo que puede llevar a la confusión. El hecho de que existan empresas dedicadas a divulgar las normas, instruir la mejor manera de cumplirlas y vender un certificado de cumplimiento lleva a pensar que dicho certificado es algo oficial, cuando en realidad es privado y voluntario aun cuando haya participación pública en algunas etapas del proceso. El artículo elaborado a partir de un cuestionario sobre nanomedicina en México señala que la mayoría de los entrevistados que responden a las preguntas sobre gobernanza y regulación no conocen las diferencias entre reglas obligatorias y normas o estándares voluntarios (Ortiz Espinoza *et al.*, 2022).

El Principio de Precaución

Un aspecto de la gobernabilidad y regulación de las nanotecnologías es el Principio de Precaución. Por su especificidad e importancia lo hemos individualizado en este relatorio. En las últimas décadas este principio de la jurisprudencia ha adquirido destacada importancia, en particular frente al hecho de la gran cantidad de nuevas sustancias químicas que entran al mercado sin análisis de riesgo o que, a pesar de ello, conllevan una serie de vacíos en la investigación que colocan en cuestión la validez de aquellos análisis para un futuro sustentable (Thornton, 2000). El proyecto que nos ocupa ha publicado algunos artículos que tocan directamente el Principio de Precaución; tema también incorporado en entrevistas y boletines.

Artículos de investigación y capítulos de libro IX

Foladori, Guillermo (2022). Principio de Precaución y Análisis de Riesgo Regulatorio: Dos fuerzas sociales encontradas y ejemplificadas en el caso de las nanotecnologías. *Trilogía: Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(26). <https://revistas.itm.edu.co/index.php/trilogia/article/view/2014>

Resumen

El presente artículo analizó la regulación de las nanotecnologías en el contexto de los productos y procesos químicos. El propósito fue identificar las fuerzas histórico-económicas que han impulsado los dos principales enfoques de regulación de las sustancias químicas. El procedimiento metodológico consistió en un análisis histórico y de contenido de lo que culminó jurídicamente como los dos principales instrumentos de regulación: el análisis de riesgo regulatorio y el Principio de Precaución. Las fuerzas histórico-económicas son, por un lado, las fuerzas del mercado, que se expresan en la política del análisis de riesgo regulatorio en lo que respecta a riesgos, salud y sustentabilidad, y que tienden a incentivar el desarrollo mercantil y buscar individualizar las relaciones técnicas y los potenciales efectos de procesos, tecnologías y productos. Por el otro están las fuerzas de la vida, aquellas que privilegian la protección de la salud de las personas y de los ecosistemas, y que se expresan en

la política del Principio de Precaución. Aunque a primera vista no parecieran ser enfoques contradictorios, por tener diferentes alcances intrínsecos, tanto temporales y espaciales como sociales, en la práctica dichos enfoques y los conceptos y metodologías que impulsan representan fuerzas sociales eventualmente enfrentadas. Se ejemplifican ambas tendencias en el caso de las nanotecnologías. El análisis muestra, como resultado, que la expresión jurídica de aquellas fuerzas representa intereses de diferente origen: en un caso aquellas que privilegian al mercado; en el otro, de aquellas que privilegian la defensa de la vida y la salud.

También puede escucharse la entrevista:

Artículos y material de divulgación II

Audio: Análisis de Riesgo y Ciencia. <https://relans.org/wp-content/uploads/Guillermo-Foladori-Analisis-de-riesgo-y-ciencia-211203-31.47.mp3>

Artículos de investigación y capítulos de libro X

Foladori, Guillermo. (2021). Principio de Precaución, Experiencia Histórica e Interdisciplina. In A. M. Ramírez, B. Ramírez, & J. Zagoya (eds.), *Ideas y experiencias sobre medio ambiente y sustentabilidad en el México neoliberal* (1a., pp. 23-44). El Colegio de Tlaxcala. A.C. https://www.researchgate.net/profile/Andres-Maria-Ramirez-2/publication/356376716_IDEAS_Y_EXPERIENCIAS_SOBRE_MEDIO_AMBIENTE_Y_SUSTENTABILIDAD_EN_EL_MEXICO_NEOLIBERAL/LINKS/619A7B5761F0987720C045CC/IDEAS-Y-EXPERIENCIAS-SOBRE-MEDIO-AMBIENTE-Y-SUSTENTABILIDAD-EN-EL-MEXICO-NEOLIBERAL.pdf?origin=publication_detail

Resumen

Hay dos grandes metodologías para evaluar el riesgo de procesos, productos y tecnologías. Uno es el Análisis de Riesgo Regulatorio (ARR); otro es el Principio de Precaución (PP). Este texto coloca esos métodos en su contexto histórico y social, analiza críticamente ambos conceptos, y ejemplifica con casos relacionados al desarrollo de las nanotecnologías. El surgimiento del ARR y el PP en las últimas décadas del siglo XX fue el resultado de la preocupación generalizada en torno a los efectos de las actividades humanas sobre el ambiente y la propia salud, y del aumento significativo que tuvo la producción y comercio mundial. Se trata de lineamientos y procedimientos de análisis que tienen bases teórico-metodológicas y políticas distintas. Ambos enfoques, el ARR y el PP, podrían parecer complementarios, ya que mientras el primero está principalmente basado en análisis de laboratorio y mediciones cuantitativas, el segundo lo está en la experiencia histórica. En la práctica no resulta simple combinarlos, porque reflejan intereses sociales opuestos. Además, y en ambos casos, entre la previsión de futuro y lo que efectivamente ocurrirá existe la incerteza, lo que hace que aquellos enfoques y métodos sean relativos en sus resultados. Las legislaciones de los países no emplean un

lenguaje o terminología homogénea para tratar la precaución. Este concepto, aunque antiguo, ha sido difundido en las políticas ambientales desde que fue incorporado en la Declaración de Río de Janeiro de 1992 de la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas –Principio 15– (ONU, 1992), y luego en el año 2000 como principio guía en la Unión Europea (Comisión de las Comunidades Europeas, 2000). Numerosas convenciones internacionales lo aplican, como el Protocolo de Montreal (1987), la Protección del Mar del Norte (1984, 1987, 1990), la Declaración de Bergen sobre Desarrollo Sustentable en la UE (1990), la Convención Global sobre el Cambio Climático (1992), el Tratado de la UE de Maastricht (1992), el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad (2001), el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (2004). En México el Principio de Precaución está presente en la ley de Bioseguridad y en el decreto sobre sustitución progresiva del glifosato (DOF-Diario Oficial de La Federación, 2020); y fue utilizado por la Suprema Corte de Justicia en la medida precautoria sobre el maíz transgénico (Medida Precautoria-Maíz Transgénico, 2021). Las tensiones entre el Principio de Precaución y otras regulaciones están desarrolladas en los trabajos antes mencionados.

Las nanotecnologías en el contexto de las nuevas tecnologías (IoT, Big data, IA, etcétera)

Como se ha señalado en el tercer apartado de la primera sección, una serie de nuevas tecnologías como la información en Nube, la Internet de las Cosas, la Big data, las bandas 5G, la Inteligencia Artificial, han inundado las noticias a partir de la segunda década del siglo XXI. El término nano se ha subsumido a aquellos más nuevos, aunque no por eso ha perdido su papel en los procesos de investigación y producción. El proyecto ha dado seguimiento a este desarrollo abordando el papel de las nanotecnologías en la industria 4.0. Este último es, posiblemente, el término que engloba a todas aquellas nuevas tecnologías. El proyecto ha elaborado dos artículos científicos y uno de divulgación sobre esta temática. El primero que se anota abajo es de carácter general, y ubica a las nanotecnologías en el tema más amplio de la Ind. 4.0; el segundo está dedicado a la relación de estos avances tecnológicos con el empleo; y, el último es específico sobre las 5G, porque la mayoría de esas nuevas tecnologías no podrían funcionar sin la internet rápida que la 5G y las ya pronosticadas 6G y 7G prometen. Curiosamente, muchas de estas nuevas tecnologías no advierten sobre las implicaciones que la extensión de redes de 5G suponen tanto en las zonas urbanas como rurales; algunos de cuyos impactos tienen que ver con el apartado sobre riesgos que trataremos más adelante.

Artículos de investigación y capítulos de libro XI

Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). De las nanotecnologías a la industria 4.0: Una evolución de términos. *Nómadas*, 55, 63–73. <https://doi.org/10.30578/nomadas.n55a4>

Resumen

El objetivo de este artículo es resaltar el lugar destacado que tienen las nanotecnologías en el desarrollo de la llamada Ind. 4.0 y del IoT. En tal sentido, los autores analizan cómo en el transcurso de las primeras dos décadas del siglo XXI la terminología referida al desarrollo tecnológico se vio modificada, y tras la crisis del 2008 el término nanotecnología pasó a segundo plano y cobraron fuerza otros como IoT o Ind. 4.0. Finalmente, llaman la atención sobre cómo, en términos materiales, no hubo tal cambio: las nanotecnologías continuaron teniendo una presencia significativa y constituyen el corazón de la Ind. 4.0.

Artículos de investigación y capítulos de libro XII

Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). La relación capital-trabajo en la Industria 4.0. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 73, 161–177. <https://doi.org/10.17141/iconos.73.2022.5198>

Resumen

El término Industria 4.0 está presente en la academia, el sector empresarial y los medios de comunicación. Se asocia a una nueva revolución tecnológica caracterizada por la interrelación de diversas tecnologías, cuyos principales elementos son los sistemas ciberfísicos, la inteligencia artificial y la conectividad global. Aunque existe abundante literatura sobre el tema, la mayoría está orientada desde una perspectiva técnica y de negocios; halagüeña en cuanto a las ventajas esperadas. Sin embargo, en este artículo se analizan las potencialidades para alterar los términos tradicionales de la relación contradictoria capital-trabajo. Mediante una amplia revisión bibliográfica, se describe a la Industria 4.0 en su contexto histórico-económico resaltando las tendencias que impulsa. Mientras que la generalidad de los autores enfatiza en la conectividad e interacción técnica, en el presente texto se acentúa el aspecto económico distintivo de esta revolución. Se destaca cómo el involucramiento de tecnologías disruptivas para lograr la alta automatización representa una clara tendencia a la desaparición del empleo asalariado, con la excepción de una mínima ocupación de trabajo calificado y de servicios. La unión de este tipo de tecnologías supone un salto cualitativo debido a la eliminación de los tiempos muertos entre empresas individuales y a lo largo de todas las cadenas de producción. Se concluye mostrando la radical alteración en las relaciones laborales de expandirse la Industria 4.0.

Boletín III

Ortiz-Espinoza, Ángeles. ¿Qué es la 5G? Proyecto Ciencia de Frontera 304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/AOE-5g-8-oct.pdf> <https://relans.org/wp-content/uploads/What-is-5g-AOE-14nov.pdf>



¿Qué es la 5G?

Ángeles Ortiz-Espinoza, octubre 7, 2021

El término 5G hace referencia a la quinta generación de comunicaciones inalámbricas y se caracteriza por: una conectividad ubicua en todo dispositivo (todo el tiempo, de forma ilimitada), un tiempo de transmisión de información (latencia) de uno a dos milisegundos, y la transferencia de datos a una velocidad de diez gigabits por segundo. Esto se consigue con un alto número de nanoantenas y tecnología para adecuar sistemas de comunicación inalámbrica de banda milimétrica a nanoescala con múltiples entradas y salidas masivas (MIMO, por sus siglas en inglés).²² Las nanotecnologías son la base técnica de la 5G.



La pandemia supuso un retraso de hasta tres años en el despliegue de esta tecnología en México, sin embargo, como lo advertía Ernesto Piedras de CIU, todo indica que ya ha habido algunas pruebas piloto de lanzamiento de esta tecnología, y la 5G ya está presente en algunas ciudades mexicanas, aunque los usuarios aún no pueden conectarse a ella por la falta de infraestructura o

²² Hao, H. *et al.* (2020). Material advancement in technological development for the 5G wireless communications. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 683–699. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0054> | <https://www.thalesgroup.com/es/countries/americas/latin-america/dis/movil/inspiracion/5g>

por no contar con los dispositivos adecuados.²³ Cabe mencionar, que en otros países de América Latina, como Brasil, Argentina, Chile y Uruguay ya se está construyendo parte de la infraestructura necesaria para la implementación de la 5G.

La administración del espectro radioeléctrico es del dominio estatal,²⁴ por lo que corresponde al Estado la licitación y concesión del mismo. El pasado agosto, Javier Juárez Mojica, comisionado del IFT, anunció la posibilidad de crear un comité entre interesados y expertos en la materia para emitir recomendaciones sobre el uso de la 5G y sobre las formas en que deberá licitarse el espectro para su instalación; algunas empresas de telecomunicaciones han solicitado la designación del segmento 6425-7125 MHz para servicios 5G: el uso de la banda 6 GHz es indispensable para potenciar sus aplicaciones.²⁵



Adverse Health Effects of Wireless Radiation on Humans				
Metabolic Disturbance	Reactive Oxygen Species Generation	Genotoxicity and Carcinogenicity	Immunotoxicity and Inflammation	Apoptosis and Necrosis
Discomfort Symptoms	Sensory Disorders	Sleep Disorders	Congenital Abnormalities	Precancerous Conditions
CANCER	NEURODEGENERATION	INFERTILITY	NEUROBEHAVIORAL	CARDIOVASCULAR

El crecimiento constante en el volumen de dispositivos y el flujo de información que navega a través de ellos, supondría la necesidad de adoptar la tecnología 5G para mantener y potenciar la capacidad de conexión. Empero, como toda tecnología, no está exenta de riesgos asociados: el despliegue de la gran cantidad de antenas y torres necesarias para la transmisión de datos, ocasionaría que usuarios y no usuarios de la red estén expuestos de manera constante a ondas de radio y campos electromagnéticos cuyos efectos aún son debatidos, del mismo modo, el incremento en el flujo de información derivado de la 5G, aumentaría la posibilidad de ciberataques y robo de información.²⁶ Por todo lo anterior, algunos organismos de la Unión Europea y otros países, así como ONG y grupos de científicos han llamado a moratorias a fin de hacer más estudios sobre los impactos a la salud de la 5G y otros riesgos asociados.²⁷

²³ <https://www.forbes.com.mx/pandemia-retrasara-hasta-3-anos-llegada-red-5g-mexico>; <https://www.forbes.com.mx/forbes-life-tecnologia-telcel-despliega-5g-mexico/>

²⁴ Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR, 2014), 104.

²⁵ <https://expansion.mx/tecnologia/2021/08/10/el-ift-impulsara-la-red-5g-para-las-industrias>; <https://www.forbes.com.mx/tecnologia-5g-mexico-realidad-retos/>

²⁶ <https://ehtrust.org/wp-content/uploads/Swiss-Re-SONAR-Publication-2019-excerpt-1.pdf>

²⁷ https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/646172/EPRS_BRI%282020%29646172_EN.pdf; https://emfscientist.org/EMF_Scientist_Press_Release_22_July_2019.pdf; https://emfscientist.org/EMF_Scientist_Press_Release_22_July_2019.pdf

Artículos y material de divulgación III

Foladori, G., & Ortiz Espinoza, Á. (2021). El otro alcance de las 5G. *Observatorio del Desarrollo*, 10(28), 81–84. <https://estudiosdeldesarrollo.mx/observatoriodeldesarrollo/wp-content/uploads/2021/12/OD28-7.pdf>

Resumen

Tal como señalado anteriormente, estas nuevas tecnologías están altamente interconectadas, y sería un error perder de vista las implicaciones de ese enmarañado por prestar atención a la particularidad de las nanotecnologías en sí mismas. La 5G es tan sólo un caso concreto que muestra la importancia de las nanotecnologías en la construcción técnica relativa a satélites, radares, receptores y demás dispositivos, los cuales utilizan Nems y otros dispositivos nanotecnológicos ampliamente. Robles Belmont ha mostrado que casi un tercio de los artículos científicos sobre nanotecnología publicados por autores radicados en México están ubicados en la clasificación de Ciencia de los Materiales por la WoS, lo que es un indicador de la importancia de los nanomateriales como materia prima para los más variados sectores económicos (Robles Belmont, 2021a).

Otros avances del proyecto también incursionan en nuevas tecnologías que requieren de las nano como materia prima, dispositivos y equipos. Más adelante, este relatorio aborda el tema de la NanoMedicina y el de las nanotecnologías en la agricultura. En ambos casos el proyecto ha publicado artículos que abordan el papel de la Inteligencia Artificial, una tecnología que depende de la Big data, de la 5G, y de los dispositivos Nems en sus procesos técnicos. Muestran, por tanto, la manera cómo las nano se han incrustado en esas nuevas tecnologías.

La Inteligencia Artificial penetra rápidamente todas las áreas de la ciencia y el desarrollo tecnológico, y, consecuentemente, se presenta directa o indirectamente en los diversos sectores productivos. No hay una única definición de Inteligencia Artificial. Mittelman (2022) sugiere que la mejor manera de referirse a ella es por su desempeño, que consiste en la elaboración de algoritmos que son instrucciones utilizadas para clasificar, organizar y proyectar información a partir de bases de datos. El hecho de que el robot pueda procesar datos y ofrecer soluciones imposibles de rastrear por los humanos ha levantado amplias críticas sobre el futuro de estas tecnologías (McQuillan, 2018; Mittelman, 2022; Pasquale, 2015; Zuboff, 2018). Desde una perspectiva crítica, que es el enfoque de este proyecto, hay una hipótesis general sobre los riesgos de la Inteligencia Artificial, y que puede ser resumida en una afirmación fuerte: planear el futuro en función de datos pasados refuerza necesariamente las diferencias y desigualdades previas. Con un lenguaje de economía política crítica, la afirmación anterior puede expresarse diciendo que planear el futuro en función de datos pasados que necesariamente reflejan el sistema de relaciones sociales capitalistas lleva a reforzar las relaciones de explotación, desigualdad y opresión de las relaciones capitalistas; en términos generales la Inteligencia Artificial se convierte en un instrumento tecnológico que favorece el capital en detrimento

de las clases trabajadoras. Es, por tanto, muy importante prestar atención a las nuevas tecnologías críticamente. Es sabido que la Inteligencia Artificial se basa en que los robots son capaces de crear algoritmos imposibles de ser rastreados en su formulación.²⁸ Planificar el futuro en función del pasado garantiza la reproducción de las diferencias y contradicciones pasadas, algo claramente expresado por Pasquale (2015, p. 20) en la frase «Pattern recognition is the name of the game—connecting the dots of past behavior to predict the future».

²⁸ Véase los casos paradigmáticos de reproducción de prejuicios raciales y culturales o el uso en la guerra (Mittelman, 2022).

Riesgos de los nanomateriales

Desde la primera década del siglo XXI, en que los productos de las nanotecnologías salen de los centros de investigación para alcanzar la producción y el mercado, varias voces de académicos, de militantes de organizaciones sociales y sindicatos, y diversas organizaciones se han preocupado por llamar la atención sobre estas nuevas sustancias químicas, que aunque en su mayoría llevan el mismo nombre que sus símiles en tamaño mayor —por ejemplo nanoplata en lugar de plata, nano dióxido de titanio en lugar de dióxido de titanio, nano oro en lugar de oro—, la funcionalidad cambia con el tamaño nano, en muchos casos radicalmente. Esa nueva funcionalidad es lo que hace importante su incorporación a procesos productivos; pero puede conllevar riesgos a la salud y el ambiente si consideramos que la nueva funcionalidad también lo es en su toxicidad. El nano dióxido de titanio ha sido prohibido en aditivos alimentarios en la Unión Europea, y otros nanoprodutos están en estudio.

Existe una extensa bibliografía sobre los riesgos de las nanopartículas, por tanto el proyecto se limitó a llamar la atención sobre el tema con ejemplos concretos y con el propósito de divulgación en redes sociales y ONG ambientalistas. Para facilitar el acercamiento al tema se elaboró un infográfico en colaboración con la red internacional IPEN (International POPs Elimination Network), donde puede apreciarse algunas de las posibilidades de efectos tóxicos de nanopartículas en un organismo humano. Este infográfico es el primer producto anotado abajo; siguen dos boletines distribuidos en redes sociales sobre riesgos de nanoplata, una en texto y otra en audio, y termina el apartado con un artículo sobre riesgos de nanopartículas en cosméticos. Otros boletines que en este relatorio aparecen en el capítulo de Agricultura y Alimentación también incluyen el tema de la toxicología de nanopartículas, lo que veremos en su momento.

Póster II

Proyecto Ciencia de Frontera. ReLANS/IPEN. Enfrentando lo pequeño. <https://relans.org/wp-content/uploads/Las-Nanotecnologias-04.pdf>



Desde comienzos de este siglo la investigación y producción con nanotecnologías ha crecido sostenidamente. Para investigadores e industriales es descubrir un mundo nuevo, porque los materiales cumplen funciones cuando están en nano tamaño diferentes a las conocidas.

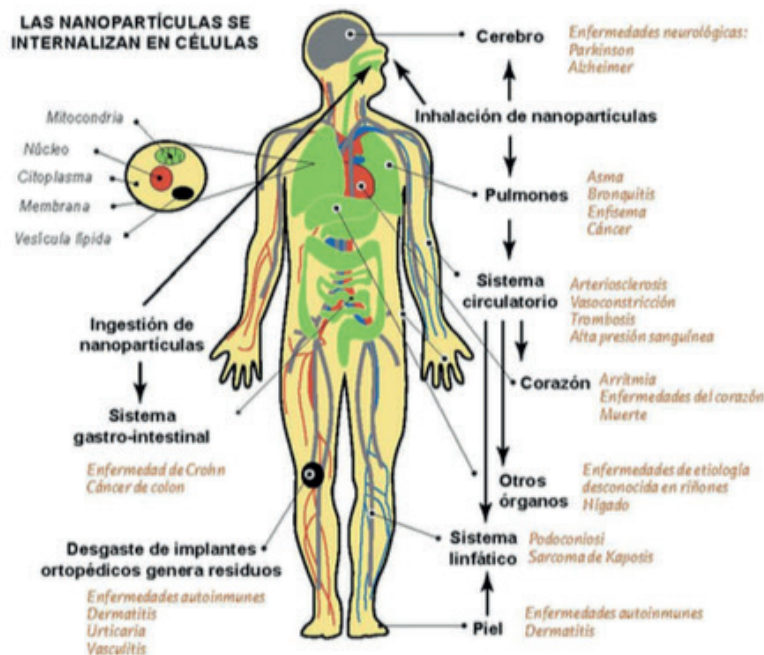
Los nanomateriales manipulados a nivel atómico pueden ser dos o tres veces menores a un virus. Cuando en ese tamaño invisible e inimaginable los

materiales son explotados en sus novedosas funciones (cambia la resistencia, conductividad, reactividad, etc.).

Los productos con nanotecnología están en todos los sectores económicos, aunque no se etiquetan ni se advierte. En electrónica hay nanochips, en alimentos modificando el sabor, en aeronáutica con nuevos materiales, hay textiles repelentes al agua y que no se arrugan, en agricultura haciendo más potentes los fertilizantes y los plaguicidas, la construcción es alterada con cementos de más rápido fraguado y estructuras más fuertes, aunque menos pesadas y de menor dimensión, en medicina llegando con los fármacos a las células afectadas, en vacunas con métodos novedosos como las de ARN-mensajero.



LAS NANOPARTÍCULAS SE INTERNALIZAN EN CÉLULAS



Fuente: traducido de Canada, E. and S. D. (2018, January 16). Engineered nanoparticles: Health and safe considerations [Recommendations]. <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/services/health-safety/reports/engineered-nanoparticles.html>

A primera vista los productos con nanotecnologías son más eficientes. Sin embargo, una mirada más detallada llega a otra conclusión en muchos casos. Así como los nanomateriales pueden acelerar la catálisis, manifestar diferente conductividad eléctrica, ser más duros o resistentes, ser bactericidas, intervenir en el mundo vivo sin que éste lo note, etc., también pueden resultar más tóxicos, menos biodegradables, más permanentes en los ecosistemas, más difíciles de detectar.

Hay muchas investigaciones que muestran los impactos devastadores que puede tener la nano plata cuando desprendida de sus matrices llega a los ecosistemas, arrasando con insectos, gusanos, hongos, bacterias, etc. Otras investigaciones muestran que algunos

nanomateriales pueden provocar cáncer y diversas enfermedades (ver imagen arriba); y la mayoría de los nanomateriales no se sabe qué pueden provocar, porque entran al mercado sin un análisis que muestre su inocuidad en la salud humana y el ambiente.

Toda la llamada industria 4.0 está plagada de nanosensores, nano robots, nano almacenadores de información y demás. Esto ha acelerado la automatización de los procesos laborales, despidiendo trabajadores sin alternativa de ocupación. La creación de trabajos virtuales es insignificante respecto del crecimiento del desempleo que las nanotecnologías provocan.

¡Las nuevas tecnologías requieren atender la salud y seguridad antes que los beneficios mercantiles!

Boletín IV

Foladori, Guillermo. ¿Es tóxica la ingestión de nano plata? Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/GF-20-Sept-AgNano-1.pdf>



¿Es tóxica la ingestión de nano plata?

Guillermo Foladori, septiembre 20, 2021

El 24 de agosto pasado entró en vigor en la Comisión Europea la restricción al uso de la Nanoplatina (AgNano) en algunos biocidas.²⁹ La AgNano es una de las materias primas nanotecnológicas más utilizadas en el mundo en diversos sectores económicos. Desde tiempos inmemoriales la plata ha sido usada como biocida y fungicida, pero en tamaño nano puede manifestar propiedades diferentes y ser tóxica; por ello, su aplicación en productos de consumo o de contacto directo está siendo investigada, discutida y restringida en algunos casos. Las nanopartículas pueden migrar de los productos que la contienen a los alimentos y así ser ingeridas y terminar en diversos órganos como el hígado, riñones, bazo, estómago o intestino.³⁰

Un uso de la AgNano en recubrimientos de alimentos, en envases y en otros productos donde es probable su involuntaria ingestión resulta preocupante. Una investigación del Center for Food Safety recopiló más de sesenta productos en el mercado mundial que utilizan AgNano, como biberones y tazas para bebés, vajilla, envases de alimentos, suplementos alimenticios, electrodomésticos como refrigeradores, lavadoras, etcétera, a pesar del riesgo a la salud.³¹



Nano Silver 300ml Baby Bottle with Handle 6M+ Arc Type Wide Mouth BPA Free PP Feeding Bottle for Baby

²⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021D1283>

³⁰ <https://www.nature.com/articles/s41538-017-0005-1>

³¹ http://www.centerforfoodsafety.org/files/nano-silver_product_inventory-in-food-12514_66028.pdf

La decisión reciente de la Comisión Europea de no aprobar biocidas con nanoplate de algunos tipos (2, 4, 9); que incluye, por ejemplo, desinfectantes para vajilla y superficies en contacto con alimentos, se suma a la de otros países como los Estados Unidos que en 2014 prohibió la incorporación de AgNano en contenedores de alimentos.³² La Comisión Europea también solicitó la opinión del Comité Científico en Salud, Ambiente y Riesgos Emergentes (SCHEER) en julio pasado sobre si los efectos tóxicos de la AgNano en ambiente acuático deben ser considerados diferentes a la plata en tamaño mayor; un tema considerado relevante por la SCHEER.³³ En México y América Latina no existe reglamentación para nanotecnologías, aunque en México más de 160 empresas venden productos con nanotecnología, algunas de ellas en el sector agropecuario y de alimentación.

³² EPA Bans Nano Silver in Food Containers (foodpoisoningbulletin.com)

³³ https://ec.europa.eu/health/sites/default/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_022.pdf

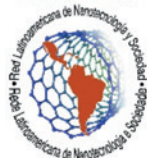
Artículos y material de divulgación IV

Foladori, Guillermo [Audio] Nanoplate en artículos de consumo. <https://drive.google.com/file/d/11M5ZfU0PI1HWT4YdSS0QurinwIDWf8s/view>

Boletín V

Ramírez, Mariana & Bracamonte-Arámburo, Ericka. Cosméticos con nanotecnología en la mira de su descontrol. Proyecto Ciencia de Frontera 304320. https://relans.org/wp-content/uploads/Boleti%CC%81n_Regulacio%CC%81n-de-los-nanomateriales-en-los-productos-cosme%CC%81ticos-Mariana-reducido-gf-EYBA-07-Dic-1-gf08Final-comentarios-EYBA-09-DIC-1.pdf

ReLANS



Cosméticos con nanotecnología en la mira de su descontrol
Mariana Ramírez Herrera y Ericka Y. Bracamonte-Arámburo,
diciembre 8, 2021

La Dirección General de Competencia, Consumo y Control del Fraude (DGCCRF) de Francia denunció la existencia de nanomateriales no etiquetados en cosméticos;³⁴ violentando la regulación europea vigente desde 2009 que obliga al etiquetado.³⁵ 85% de los productos muestreados incumplían la disposición.³⁶

³⁴ <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/quand-les-cosmetiques-ont-des-imperfections-corriger>

³⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1602233669557&uri=CELEX:32009R1223>

³⁶ https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dgccrf/securite/produits_non_alim/Briefing-note-definition-nanomaterials-cosmetics.pdf

Algunos materiales en escala nano pueden ser tóxicos, y con su diminuto e invisible tamaño penetrar la piel o ser inhalados. Ciertas ONG comenzaron a denunciar estos riesgos a principios de siglo; véase por ejemplo el documento de Amigos de la Tierra-Australia de 2006.³⁷

Las principales funciones de las nanopartículas en cosmética son la vehiculización y liberación de sustancias activas sobre la piel (principalmente usando liposomas y niosomas), y la filtración de la radiación ultravioleta, siendo utilizados a tales efectos el dióxido de titanio y el óxido de zinc en tamaño nano, que evitan el blanquecino a la piel.³⁸

En la industria cosmética los nanomateriales están en desodorantes, jabones, pastas dentífricas, champús, acondicionadores para cabello, protectores solares, cremas antiarrugas, humectantes, bases, polvos faciales, lápiz labial, rubor, sombra de ojos, esmalte de uñas, perfumes y lociones para después del afeitado, y fabricados por empresas como: L'Oréal, Estée Lauder, Procter and Gamble, Shiseido, Chanel, Beyond Skin Science LLC, Revlon, Dr Brandt, SkinCeuticals, Dermazone Solutions y otras.³⁹

En México la filial Nivea, por ejemplo, comercializa un filtro solar (imagen) con el etiquetado *dióxido de titanio (nano)* cumpliendo con la normativa europea. En Brasil la línea Nivea Sun, que incluye dos filtros solares en aerosol para niñas/os dice contener en sus ingredientes *Titanium Dioxide (nano)* aunque no aparece la indicación en las etiquetas de los 11 productos de la línea.⁴⁰ Es posible que otros cosméticos en el mercado latinoamericano no etiqueten, y tengan TiO₂ nano u otros nanomateriales como nano-óxido de zinc o fulerenos que también son de riesgo a la salud y a los ecosistemas donde terminan. No hay registros, ni monitoreo, ni reglamentación al respecto.

Las investigaciones sobre riesgos de las nanopartículas avanzan, y algunas comienzan a ser investigadas como potenciales cancerígenos, entre ellas el nano-dióxido de titanio tan usado en cosmética y también en panaderías y pastelerías.



³⁷ https://foe.org/wp-content/uploads/2017/legacy/Nanomaterials_sunscreens_and_cosmetics.pdf

³⁸ <https://revistadigital.inesem.es/biosanitario/nanocosmetica-nanotecnologia-piel/>

³⁹ <https://emergingtech.foe.org.au/wp-content/uploads/2014/06/nano-cosmetics-report-2MB.pdf>

⁴⁰ <https://www.amazon.com.br/Nivea-Sun-Protect-Bronze-200ML/dp/B07C3BCJN8?th=1>

Es sabido que esos tres elementos (nano OZ, TiO₂, fulerenos, y tal vez otros) son de riesgo. El dióxido de titanio y el óxido de zinc generan daños al ADN, y el TiO₂ en tamaño nano es más dañino y agresivo al ADN que en un tamaño mayor; y, en cuanto a los fulerenos (C₆₀) diversos experimentos con animales han detectado su efecto en daño cerebral en peces y mortalidad en pulgas de agua. Sus propiedades bactericidas son tóxicas a las células del hígado de los humanos.

Existe la preocupación en ambientalistas de que el exceso de desechos de dióxido de titanio y fullerenos llegue a las aguas residuales con graves resultados, habida cuenta de efectos ya conocidos y, además, de que los materiales en nano escala pueden tener propiedades aún desconocidas. Los métodos analíticos de los nanomateriales son parciales y restringidos en función del uso que se le da al producto y su análisis para el resultado ecosistémico está muy distante de ser cubierto; de allí que se demande la realización de mejoras en las plantas de tratamiento de aguas residuales para disminuir los riesgos; aunque esto no combata la causa.⁴¹

En México y América Latina existen productos en el mercado que incorporan estos y otros nanomateriales potencialmente tóxicos. Sin embargo, no hay ninguna regulación para atender este problema. En su lugar, los gobiernos han descansado en las normas voluntarias nacionales (normas NMX en México), equivalentes a las ISO, que reflejan los intereses corporativos y no son obligatorias.

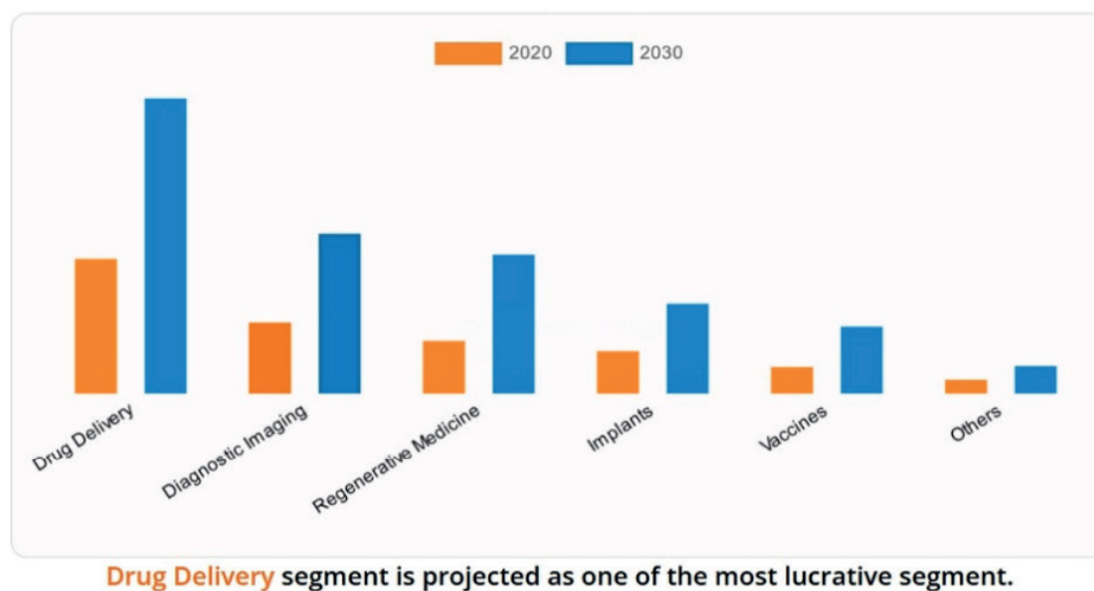
La evolución del desarrollo capitalista está marcada, entre muchas otras cosas, por la conexión temporal cada vez más reducida entre los procesos de investigación y desarrollo y los de producción y mercado. Durante la primera mitad del siglo XX podían pasar 30 o hasta 50 años entre una invención y su aplicación comercial, esta distancia se ha acortado significativamente con la globalización de los últimos 50 años. En la actualidad nuevas tecnologías tienen sus productos en el comercio en dos años, un año, y a veces meses. Esto crea una nueva dificultad desde la perspectiva de los riesgos de las tecnologías, ya que la reducción de los plazos temporales dificultan identificar posibles riesgos por acumulación, por ejemplo a la salud humana y el ambiente. De allí que el papel de la incorporación de las implicaciones sociales, ambientales y a la salud humana de las nuevas tecnologías cobre una mayor importancia en la enseñanza y los procesos de investigación. Algunos fondos de financiamiento y universidades han salido al paso exigiendo que un porcentaje de la inversión sea destinado al estudio o sistematización de los posibles riesgos e impactos de las nanotecnologías. Esto es importante, porque muchos investigadores que tienen como propósito investigar y explotar las nuevas funcionalidades de los nanomateriales lo hacen con el objetivo del desarrollo de procesos productivos, y no necesariamente están informados sobre los riesgos que pueden conllevar los mismos productos que están investigando. Además, las empresas y fuentes empresariales de financiamiento buscan ocultar o ignorar los potenciales riesgos que, a primera vista, dificultarían el avance de la investigación, de la comercialización, o del esperado retorno del capital invertido a nivel individual, aunque representen importantes ventajas para la sociedad en su conjunto.

⁴¹ [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000261](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000261)

Nanomedicina

Una de las áreas de mayor desarrollo de las nanotecnologías es la nanomedicina (Allied Market Research, 2022). La aplicación de las nanotecnologías a la medicina abarca muchas posibilidades, como métodos de diagnóstico, ingeniería de tejidos, elaboración de fármacos, o entrega dirigida de fármacos (figura 7).

Figura 7. Nanomedicina por aplicación



Fuente: Allied Market Research. (2022). *Nanomedicine Market Size and Share | Growth Prediction- 2030*.
Allied Market Research. <https://www.alliedmarketresearch.com/nanomedicine-market>

El proyecto ha actualizado información de artículos científicos sobre nanomedicina publicados por autores radicados en instituciones mexicanas (Robles Belmont, 2021b), notando un incremento significativo a partir de la segunda década del siglo. El proyecto también ha sistematizado información bibliométrica sobre gobernanza de las nanomedicinas (Soto-Vázquez *et al.*, 2022).

En el contexto de la pandemia del covid-19 el proyecto ha trabajado en la recopilación y sistematización de información relacionada, ya que diversas nanotecnologías han sido aplicadas para paliar esta enfermedad (Soto-Vázquez *et al.*, 2022). Las más nombradas son las vacunas RAm, y la concentración en un puñado de grandes corporaciones transnacionales es significativo (Záyago Lau *et al.*, 2021). Además, el grupo de investigación del proyecto ha colaborado con ONG vinculadas en la elaboración de notas de divulgación sobre riesgos de algunas nanopartículas a la salud humana (Arteaga-Figueroa, 2022; Bracamonte-Arámburo, 2021), y artículos de divulgación científica sobre el tema (Bracamonte-Arámburo & Foladori, 2022). También, y como parte de una encuesta a investigadores de nanomedicina en México que está en curso, un primer adelanto fue sistematizado y divulgado (Ortiz Espinoza *et al.*, 2022).



Desarrollo de la nanomedicina en México

Análisis de la producción científica



Reporte elaborado por: Eduardo Robles Belmont
Septiembre 2021

Proyecto Conacyt, Ciencia Frontera No. 304320 *Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socio-económicas nacionales*

Metodología

Área	Ecuación	Set	Resultados
Drug delivery	TS=(liposome*) or (*polymeric drug**) or (*drug polymer conjugate*) or (*protein polymer conjugate*) or (*pegylated protein**) or ((drug) and ((nanoparticle*) or (nanocapsule*) or (nanosuspension*) or (nanocrystal*) or (*gold nanoparticle**) or (*colloidal gold*) or (*silicate nanoparticle**) or (*calcium nanoparticle**) or (biosilic*) or (*titanium dioxide nanoparticle**)) or (*solid lipid nanoparticle**)) AND CU=(Mexico)	1	890
Drugs and therapy	TS=(fullerene drug*) or (dendrimer drug*) or (nanoshell*) and (phototherapy* and *hypothermal therap**)) or (magnetic nanoparticle* and hyperthermal therap**)) AND CU=(Mexico)	2	38
In vivo imaging	TS=((superparamagnetic iron oxide) or (*ultra-small superparamagnetic iron oxide*) or (*monocrystalline iron oxide nanoparticle**) or (cross-linked iron oxide nanoparticle*) or (liposome and ultrasound) or (nanoparticle* and nuclear imaging) or (nanoparticle* and optical imaging) or (nanoshell* and optical imaging) or (quantum dot* and optical imaging)) and CU=(Mexico)	3	261
medical biosensors	TS=((medical biosensor**) or (*surface plasmon resonance* and biosensor*) or (cantilever biochip*) or (*DNA chip** and *electrical detection*) or (nanosensor* and diagnostic*) or (*quantum dot** and diagnostic*) or (*gold nanoparticle** and diagnostic*) or (*magnetic nanoparticle** and diagnostic*) or (*lab on a chip*)) and CU=(Mexico)	4	114
Biomaterials	TS=((bone cement**) and nanostructure*) or (*dental implant** and nanocomposite*) or (*orthopedic implant** and nanostructure*) or (*cardiovascular implant** and nanostructure*) or (*tissue engineering* and nanostructure*) or (*silver nanoparticle** and (implant* or *wound dressing**)) or (biomarker* and nano*) and CU=(Mexico)	5	126
Intelligent implants / neural prostheses Cosmetics	TS=((drug delivery** and nanotechnology*) or (*neural prosthes** and nanotechnology*) and CU=(Mexico)	6	73
	TS=((cosmetic* and nanotechnology*) or (sunscreen* and nanoparticle*) or (cosmetic* and nanoparticle*) or (sunscreen* and nanocapsule*) or (cosmetic* and nanocapsule*) or (lipid nanoparticle*) or (liposome* and nano**)) and CU=(Mexico)	7	Eliminada 209
Nanomedicina	TS=(nanomedicine*) and CU=(Mexico)	8	111
Vacunas	TS=(vaccine* and nanotechnology*) and CU=(Mexico)	9	15
Total	#9 OR #8 OR #7 OR #6 OR #5 OR #4 OR #3 OR #2 OR #1		1396
Nota:			

Los resultados presentados en este reporte conciernen al desarrollo de la nanomedicina en México. La información bibliométrica se centra sobre los artículos científicos publicados por al menos un autor cuya adscripción laboral tiene domicilio en el territorio mexicano.

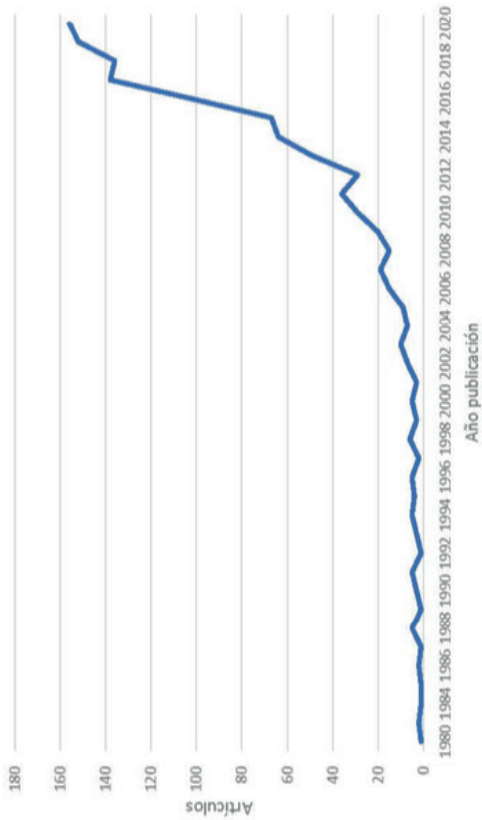
La base de datos consultada es la Web of Science ya que los datos proporcionados nos permiten obtener posteriormente una base de datos estructurada y que requiere un tratamiento de datos aceptable. La estrategia de búsqueda esta compuesta en 9 secciones del campo de la nanomedicina, de las cuales 7 son las propuestas por Wagner y colaboradores (2008). Las dos secciones restantes han sido agregadas para identificar aquellos trabajos en disciplinas distintas a las ciencias naturales y medicas que se han interesado en estudiar este campo emergente y para identificar los trabajos que conciernen el desarrollo de vacunas. Además, en los resultados hemos excluido los documentos sobre cosméticos.

Producción científica

En los estudios sobre el desarrollo de la nanomedicina en México se habían reportado resultados con poco volumen en término de documentos científicos publicados. En esta ocasión se extendió la búsqueda con una consulta sin que ésta impacte el conjunto de los datos. Sin embargo, el total de resultados hasta el año 2020 han aumentado y se debe a dos puntos:

- 1. Aumento en las publicaciones a partir del año 2013.
- 2. Creación de la Emerging Source Citation Index, donde nuevas revistas mexicanas han sido incluidas.

Tipo de documento	Frecuencia	% de 1385
Artículo	1119	80,79%
Revisión	184	13,29%
Documentos de actas	61	4,40%
Capítulo de libro	37	2,67%
Memoria de congreso	33	2,38%
Resumen de reuniones	15	1,08%
Material editorial	5	0,36%
Cartas	1	0,07%



Los datos resultantes siguen la misma tendencia que hemos observado en otros sectores de las nanociencias y nanotecnologías para México. Esto en otras proporciones. Estas tendencias son los crecimientos en tres periodos: posterior al 2001, al 2008 y el 2011. Esto puede ser un indicador para constatar la pertinencia de los resultados.

Perfil disciplinar de la nanomedicina en México (science map)

Esta visualización nos permite caracterizar las disciplinas (categorías WOS) en las que se han producido los nuevos conocimientos en el campo de la nanomedicina, así como sus relaciones.

Referencias

Wagner, V., Hüsing, B., Gaiser, S., Bock, A.-K. (2008). Nanomedicine: Drivers for development and possible impacts. European Science and Technology Observatory.

Select Database(s) and Timespan

Select the database(s) and timespan limit against which to run all the queries in the history. Then click "Continue."

Timespan

All years (1900 - 2021)

More settings

Web of Science Core Collection: Citation Indexes

- ☒ Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) – 1900-present
- ☒ Social Sciences Citation Index (SSCI) – 1900-present
- ☒ Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) – 1975-present
- ☒ Conference Proceedings Citation Index- Science (CPCI-S) – 1990-present
- ☒ Conference Proceedings Citation Index- Social Science & Humanities (CPCI-SSH) – 1990-present
- ☒ Book Citation Index- Science (BKCI-S) – 2005-present
- ☒ Book Citation Index- Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH) – 2005-present
- ☒ Emerging Sources Citation Index (ESCI) – 2015-present

Data last updated: 2021-02-10

(To save these permanently, sign in or register.)

Artículos de investigación y capítulos de libro XIII

Soto-Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L.A. (2021). Gobernanza de la nanomedicina: Una revisión sistemática. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e-25e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682>

Resumen

La nanomedicina (la aplicación de la nanotecnología en medicina) está revolucionando el diagnóstico, tratamiento y control de enfermedades. Aunque es cierto que esta ha generado importantes beneficios desde el punto de vista médico, existen riesgos toxicológicos, ambientales, éticos y sociales que deben ser analizados. La gobernanza, entre otras cosas, abarca la gestión de riesgos y beneficios de las nuevas tecnologías, por lo que puede aplicarse en nanomedicina para el análisis de riesgos. El objetivo de este artículo es mostrar un panorama de la gobernanza de la nanomedicina a través de una revisión sistemática de la literatura científica. La metodología empleada consistió en los siguientes pasos: 1) búsqueda de artículos en las bases de datos de Scopus, Web of Science y Scielo; 2) limpieza de resultados; 3) obtención de datos altmétricos de la plataforma Dimensions; 4) descarga y lectura de los artículos, y, 5) análisis crítico de los artículos. Como resultado se identificaron deficiencias regulatorias y preocupaciones éticas vinculadas con los productos nanomédicos, pero también se encontraron propuestas para evaluar riesgos y abordar aspectos éticos. Se concluye que, aunque ha habido progresos en la evaluación de riesgos, aún existen asuntos pendientes en materia de regulación.

Bases de datos IX

Mimiaga, J.M., Foladori, Guillermo, Ortiz Espinoza, Á. & Bracamonte-Arámburo, E. (2021). Artículos sobre nanomedicina en repositorios de Scielo y Redalyc. Base de datos y comentario. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320.

Artículos sobre nanomedicina en repositorios de Scielo y Redalyc.

Base de datos y comentario

Juan Manuel Mimiaga, Guillermo Foladori, Ángeles Ortiz-Espinoza,
Ericka Bracamonte-Arámburo

Este documento incluye una base de datos comentada relativa a publicaciones sobre nanomedicina o nanosalud en México, accesibles en los repositorios de Scielo y Redalyc. La búsqueda y sistematización de la información se realizó como parte del proyecto de Investigación de Conacyt, Ciencia de Frontera 2019 No. 304320, *Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México* (www.relans.org).

Una de las principales áreas de aplicación de las nanotecnologías es la de medicina/salud, donde estas tecnologías han revolucionado algunos sectores como los implantes, las vacunas y la entrega

direccionada de drogas (Bawa *et al.*, 2016; Gordon & Sagman, 2003; Wagner, Volker *et al.*, 2008). Los datos de este texto pertenecen a los repositorios de Scielo y Redalyc, que son los principales en el registro de revistas publicadas en español y portugués. Cabe mencionar que estos resultados no son comparables con bases en inglés como las Web of Science o Scopus, debido a que estas últimas tienen motores de búsqueda versátiles, que permiten datos más ajustados y homogéneos, y donde la mayoría de las revistas incorporadas publican en inglés que es el idioma científico por excelencia, además de existir un sinnúmero de mecanismos de control que obligan a los científicos a publicar en estas revistas en lugar de las que lo hacen en español o portugués.^{42,43} Aunque los resultados de la búsqueda en Redalyc y Scielo fueron sumamente reducidos, algunas indicaciones resultan útiles cuando se integran a información más amplia sobre el desarrollo de las nanomedicinas en México.

Como parte de una investigación sobre nanotecnologías dirigidas al sector de salud/médico en México, este tema se inscribe en las potenciales aplicaciones de aquellas nuevas tecnologías en áreas que pueden ser de interés social; lo cual no significa que la dinámica del mercado mundial sobre el control de la investigación y desarrollo de fármacos y demás ámbitos médicos no desvirtúe el interés del propósito social hacia otro más mundano como son las ganancias capitalistas.⁴⁴

1. Metodología

Con el propósito de analizar los artículos publicados en revistas de Iberoamérica sobre nanomedicina, particularmente en México, se analizaron las dos principales bases de datos bibliométricos: Scielo y Redalyc, que contienen la mayoría de los artículos en español y portugués que no están indexados en la Web of Science o en Scopus. Debido a las limitaciones de los motores de búsqueda de ambas bases de datos el trabajo se realizó mayormente en forma manual. Sin embargo, ambos repositorios clasifican las revistas por grandes áreas temáticas, lo cual fue aprovechado. Como los criterios de clasificación por áreas no son homogéneos en ambos repositorios, el resultado es sólo indicativo y muy general. El trabajo fue realizado por aproximaciones sucesivas a partir de algunos filtros.⁴⁵

⁴² Ambas empresas han estado incorporando revistas publicadas no solamente en inglés y año con año se incrementan las que publican en español y portugués. Sin embargo, el inglés sigue atrayendo la mayor cantidad de publicaciones científicas en prácticamente todas las áreas del conocimiento, seguido del mandarín. Según un estudio realizado por la Organización de Estados Iberoamericanos en colaboración con el Real Instituto Elcano sobre diversidad lingüística en la ciencia en España, Portugal y América Latina en 2020, el 95% de los artículos científicos fueron publicados en inglés y solamente un 1% en español y portugués (Hernández Bonilla, 2021).

⁴³ Los interesados en las publicaciones de nanomedicina en México registrados en la Web of Science pueden remitirse a la búsqueda bibliométrica actualizada hasta 2021 en el portal del proyecto de investigación (Robles Belmont, 2021).

⁴⁴ Parte del proyecto de investigación Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320

⁴⁵ También se consultaron los repositorios de Latindex, cuyo buscador no permite búsqueda dentro de cada número de revista; y, también se revisó el repositorio de Dialnet, pero este sólo muestra los títulos de las revistas y exige membresía para acceder al contenido, por lo cual no fue incorporado al análisis.

La primera selección fue realizada a partir del área temática que los repositorios consideran como revistas de medicina o salud, dando un total de 34 revistas diferentes. La búsqueda abarcó todos los años que las bases de datos reportan, lo cual corresponde al periodo 2011 al 2021 (junio). En una segunda instancia se seleccionaron todos los artículos de aquellas revistas previamente filtradas que incluían en su título o entre las palabras clave el término «nano» (*e. g.* nanomedicina, nanotecnología, nanociencia), y se obtuvieron 56 artículos. De ellos ocho fueron eliminados por estar repetidos en ambas bases o porque no trataban de nanomedicina/salud. El resultado final fueron 48 artículos en total; 38 en Scielo y 10 en Redalyc (cuadro 1).

Cuadro 1. Revistas científicas catalogadas por Scielo y Redalyc dentro de Medicina o Salud y cantidad de artículos sobre nanomedicina 2011 al 2021

<i>Revistas</i>	<i>Redalyc</i>	<i>Scielo</i>	<i>Total</i>
Acta Biológica Colombiana		1	1
Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana	1		1
An. Acad. Bras. Ciênc		1	1
Anales del Sistema Sanitario de Navarra		1	1
Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología		1	1
Archivos Españoles de Urología (Ed. impresa)		1	1
Arq. Bras. Med. Vet. Zootec		3	3
Biomédica		1	1
Biotechnología Aplicada		1	1
Braz. J. Pharm. Sci		2	2
CES Odontología		1	1
Educación química		1	1
Einstein		3	3
Entreciencias: Diálogos en la Soc. Conocimiento	2		2
Hist. cienc. saude-Manguinho		1	1
Iatreia	1	2	3
Ingeniería y Desarrollo		1	1
International Journal of Morphology		2	2
Matéria		1	1
Medicina y Seguridad del Trabajo		1	1
Momento		1	1
Mundo nano		5	5
Persona y Bioética	1	1	2
Revista Científica Guillermo de Ockham	1		1
Revista Cubana de Hematología, Inmuno y Hemoterapia		1	1
Revista Cubana de Salud Pública		1	1
Revista de Ingeniería		1	1
Rev. Acad. Colomb. de Cs Exactas, Físicas y Natu		2	2

<i>Revistas</i>	<i>Redalyc</i>	<i>Scielo</i>	<i>Total</i>
Revista Habanera de Ciencias Médicas	1		1
Rev. Médica Instituto Mexicano del Seguro Social	1		1
Simposio: ética bioética y medicina		1	1
Tecnológicas		1	1
Universitas Medica	1		1
Vigilância Sanitária em Debate: Soc. Ciência & Tec.	1		1
Total general	10	38	48

Fuente: elaboración propia a partir de Scielo y Redalyc.

En un tercer momento, a partir de los 48 artículos sobre nanomedicina, se seleccionaron los correspondientes a México o elaborados en México. Para ello se revisó el título, las palabras clave, el resumen y la sede de los investigadores, todo ello de manera manual. El resultado fueron 10 artículos, la mayoría en coautoría, algunos en colaboración internacional y otros en colaboraciones nacionales (cuadro 2). El listado de los 10 artículos sobre nanomedicina en México incluye información sobre los centros de investigación de los autores participantes, el año de publicación, y el sector dentro de las nanomedicinas que más se ajusta a la temática. Cuando hay coautorías de diferentes centros se registra cada uno de ellos, al igual que cuando un autor trabaja en más de un centro; de tal manera que el total de centros, institutos o departamentos de universidades es mayor que la cantidad de artículos.

Posteriormente se adaptó una taxonomía de sectores de investigación en nanomedicina a los intereses del proyecto. Para ello fueron revisadas dos de las taxonomías ampliamente utilizadas (Gordon & Sagman, 2003; Wagner, Volker *et al.*, 2008). En ambos casos se trató de clasificaciones basadas en la potencial aplicación técnica de las nanotecnologías a la medicina; y cada sector puede subdividirse en otros. Para nuestros fines fue suficiente una clasificación general (cuadro 2) elaborada tomando como guía los trabajos de los autores antes señalados. Cabe señalar que estas taxonomías no permiten incluir investigaciones que se orienten al análisis de los posibles riesgos e implicaciones de las nanotecnologías aplicadas al sector médico y de salud, razón por la cual se incluyó un capítulo titulado riesgos. Este último incluye tanto riesgos en sentido restringido, referidos al ambiente y el ser humano, como en sentido amplio sobre las implicaciones éticas, jurídicas, laborales y económicas. Los sectores adoptados para clasificar las nanomedicinas son: biofarma, diagnóstico, implantes, instrumentos y riesgos. En *biofarma* los principales subtemas son: fármacos, vacunas, y entrega y liberación de fármacos (*drug delivery*); en *implantes*: huesos, tejidos y sensores; *diagnóstico* se subdivide en: genética e imagen; *instrumentos* se subdivide en: robots e instrumentos, y *riesgos* incluye: ocasionados a la salud y el ambiente, de implicaciones laborales, jurídicas, éticas, etcétera. El cuadro 2 contiene la información consolidada de las cuatro etapas sucesivas que se aplicaron en la metodología descrita.

2. Análisis

Lo primero a destacar es la escasa cantidad de artículos sobre nanomedicina en los repositorios de Scielo y Redalyc, tanto a nivel iberoamericano como en los resultados para México que sólo reportan 10 artículos. Más allá de los elementos que relegan publicaciones científicas en español y portugués, hay que mencionar el hecho de que los 48 artículos del primer filtro se reparten en 34 revistas diferentes (cuadro 1). Esto significa que hay pocas revistas especializadas en el tema que atraigan la atención de los investigadores. Como las nanotecnologías componen un abanico muy amplio de diversas aplicaciones (Tsuzuki, 2009), los intereses de nanomedicina no necesariamente tienen relación con los intereses de los investigadores de nano aplicada a la metalmecánica, o a las aplicaciones en aeronáutica. A su vez, dentro de nanomedicina las variedades son también significativas y llevan a la diseminación del tema entre revistas con muy variados intereses, lo cual va contra el papel de las revistas científicas como medio de transferencia de conocimiento.

En relación a los sectores de las nanomedicinas, cuatro corresponden a biofarma, tres a riesgos, dos a diagnóstico y uno a implantes. Esto se vincula con los primeros resultados de un trabajo paralelo realizado a partir de una encuesta de 47 entrevistas (Ortiz-Espinoza *et al.*, 2022). Y, de igual forma que en la encuesta, llama la atención del interés por el tema de riesgos, algo que no aparece en la mayoría de las taxonomías sobre nanomedicina como las que utilizamos como base para nuestra clasificación. Los investigadores de los potenciales beneficios de las nanomedicinas también están preocupados por sus eventuales riesgos, algo que está siendo ampliamente debatido a nivel internacional (Forbe *et al.*, 2011). Es probable que el interés por el tema de los riesgos esté más presente entre ciencias biológicas y de la salud que en otras áreas académicas, como muestra la presencia del tema en el conjunto de las investigaciones sobre nanotecnología en México (Záyago Lau *et al.*, 2014). No se realizó una subdivisión de los sectores en subsectores porque requeriría la lectura completa de cada uno de los artículos.

La mayoría de los artículos están en coautorías y resulta interesante que participan diferentes centros de investigación de México y en algunos casos de otros países. Como contraparte a las ventajas que ofrece la colaboración entre instituciones está el hecho de la gran brecha entre la mayoría de los estados de la república que no tienen participación y los contados de las regiones centro y norte del país, en donde está concentrada la investigación y desarrollo de las nanotecnologías en general y en nanomedicina en particular (Záyago & Foladori, 2012).

Cuadro 2. Artículos sobre nanomedicina en México en las bases de Scielo y Redalyc según instituciones de elaboración, año de publicación, y taxonomía dentro de nanomedicina

Artículo	Centros de investigación, Universidad, Instituciones	Año	Taxonomía
1	Universidad De La Salle Bajío. Campus León, Gto. Centro de Inv. en Química Aplicada (CIQA) & Consorcio para la Innov. y Transf. Tec. Des Agro alimentario Edo. Aguascalientes (2) Centro de Inv. y Asistencia en Tecnología y Diseño del Edo. de Jalisco (CIATEJ) Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, UNAM (CFATA) Inst. Invest. en Metalurgia y Materiales, Univ. Michoacana de S. Nicolás de Hidalgo	2020	Diagnóstico
2	(CFATA) Departamento de Nanotecnología Universidad La Salle Laguna	2018	Biofarma
3	(2) Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Nanociencias y Nanotec., Ensenada (CNYN-UNAM) & Centro Inv. Cient. y Educación. Sup. Ensenada UNAM	2020	Riesgos
4	(2) Fac. Química, Dep. de Farmacia (FQ-DF), Univ. Nac. Autónoma de Méx. (UNAM) (2) Pós-graduação em Educa. em Ciências: Química da Vida e da Saúde/Furg (Brasil)	2016	Biofarma
5	Dep. de Atención a la Salud, Univ. Aut. Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X)	2011	Riesgos
6	(2) Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAM-X) Instituto Politécnico Nacional	2020	Riesgos
7	(7) Lab. de Oncología Genómica, Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas, Hospital de Oncología, Centro Médico Nacional Siglo XXI, UMAE-IMSS Ing. Tisular y Med. Regenerat., Lab. de Genómica Funcional, Univ. Aut. de Cd. Juárez	2011	Diagnóstico
8	Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa (2) Inst. Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria en Biotecnología Univ. Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores, Iztacala. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.	2021	Biofarma
9	(4) Esc. Nac. de Est. Superiores (ENES-León) (UNAM)	2013	Biofarma
10	(4) Dep. de Odontología y Estomatología. Universidad de Monterrey (UDEM) (2) Laboratorio de Ingeniería Tisular y Medicina Regenerativa (LITYMR) (UDEM)	2011	Implantes

Fuente: elaboración propia

Nota: los numerales entre paréntesis indican la cantidad de autores de la misma institución a partir de dos.

Conclusiones

La nanomedicina, uno de los sectores de mayor crecimiento dentro de estas novedosas y variadas tecnologías, puede ser de gran importancia para los países en desarrollo, particularmente en algunas áreas donde los procesos productivos no requieren de sofisticada tecnología.

Una revisión de los principales repositorios de revistas científicas en español y portugués (Scielo y Redalyc) no registran más que unas decenas de artículos en la última década dedicados a

las nanomedicinas en toda América Latina y menos de una docena para el caso de México. Esto contrasta con la revisión en la Web of Science donde pasan los mil sólo para México. El idioma sigue siendo una barrera significativa tanto para la transferencia de conocimiento científico como para el reconocimiento internacional. A pesar de ello los pocos artículos registrados en español para México reproducen tendencias halladas en otras fuentes respecto de las áreas de investigación dentro de la nanomedicina, donde biofarmacia y, particularmente, distribución y liberación de fármacos (*drug delivery*) constituyen el atractor principal de las investigaciones. Otro elemento que debe resaltarse es el interés que puede intuirse a partir de estos pocos artículos por cuestiones relativas a los riesgos de las nanopartículas; cuando ni en la capacitación formal de cursos de nanotecnología ni en la reglamentación existe mayor dedicación a esta temática.

Referencias

- Bawa, R., Audette, G.F., & Reese, B. (eds.). (2016). *Handbook of Clinical Nanomedicine: Law, Business, Regulation, Safety, and Risk* (1ª edición). Jenny Stanford Publishing.
- Forbe, T., García, M., & González, E. (2011). Potencial risks of nanoparticles. *Food Science and Technology (Campinas)*, 31(4), 835–842. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000400002>
- Gordon, N., & Sagman, U. (2003). *Nanomedicine Taxonomy*. Canadian Institute of Health Research & Canadian NanoBusiness Alliance. <https://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report31.pdf>
- Hernández Bonilla, J.M. (2021, July 28). *Em 95% dos artigos científicos, inglês cria 'ditadura da língua'. Apenas 1% está em português e espanhol*. *El País*. <https://brasil.elpais.com/ciencia/2021-07-28/em-95-dos-artigos-cientificos-ingles-cria-ditadura-da-lingua-apenas-1-esta-em-portugues-e-espanhol.html>
- Ortiz-Espinoza, Á., Foladori, G., & Bracamonte-Arámburo, E. (2022). Elementos críticos sobre las nanotecnologías en México (en dictaminación).
- Robles Belmont, E. (2021). *Desarrollo de la nanomedicina en México. Análisis de la producción científica*. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320. [www.relans.org](http://www.relans.org/IIMAS-UNAM) www.relans.org
- Tsuzuki, T. (2009). Commercial scale production of inorganic nanoparticles. *International Journal of Nanotechnology*, 6(5), 567–578. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2009.024647>
- Wagner, Volker, Hüsing, Bärbel, Gaiser, Sibylle & Bock, Anne-Katrin. (2008). *Nanomedicine: Drivers for development and possible impacts*. European Commission and Institute for Prospective Technological Studies; NANOMEDICINE. pdf. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC46744.pdf>
- Záyago, E., & Foladori, G. (2012). La política de Ciencia y Tecnología en México y la incorporación de las nanotecnologías. In G. Foladori, E. Záyago, & N. Invernizzi (eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. Miguel Ángel Porrúa.
- Záyago Lau, E., Foladori, G., Frederick, S., & Arteaga, E.R. (2014). Researching Risks of Nanomaterials in Mexico. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, B4014001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000247](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000247)

Artículos de investigación y capítulos de libro XIV

Soto-Vázquez, R.S., Záyago Lau, E., & López, L.A.M. (2022). Nanomedicina para enfrentar la pandemia de COVID-19: Un análisis bibliométrico de las publicaciones de Web of Science con la herramienta Bibliometrix de R. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 33(0). <http://www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1880>

Resumen

La enfermedad de covid-19, a poco más de un año de su aparición, ha provocado más de 2 000 000 de muertes y más de 100 000 000 de contagios a nivel mundial. Ante esta situación, científicos de varias disciplinas han trabajado arduamente para luchar contra ella. Una de las disciplinas involucradas en la investigación sobre covid-19 es la nanomedicina, que se define como la aplicación de la nanotecnología en medicina. El objetivo de este trabajo es explorar, mediante un análisis bibliométrico, la producción científica sobre nanomedicina aplicada a la covid-19. Se realizó una búsqueda de publicaciones en Web of Science para el periodo 2019–2021, la cual abarcó cinco áreas de la nanomedicina: administración de fármacos, fármacos y terapia, imagenología *in vivo*, biosensores y biomateriales. Los datos obtenidos de Web of Science se procesaron en Bibliometrix, una herramienta de código abierto, programada en lenguaje R, que sirve para hacer análisis bibliométricos. Se encontraron 155 publicaciones, las cuales en su mayoría son artículos y revisiones de literatura. Más del 70% de estas se concentraron en las áreas de administración de fármacos y biosensores. Las revistas científicas donde se han publicado más artículos son ACS Nano, Biosensors & Bioelectronics y Nanomaterials. Los países con mayor producción científica son Estados Unidos, India y China. Las contribuciones más relevantes de la nanomedicina en la lucha contra la covid-19 son el desarrollo de nanovacunas y el diseño de biosensores nanoestructurados para el diagnóstico.

Artículos de investigación y capítulos de libro XV

Záyago Lau, E., León-Silva, S., & Soto Vázquez, R. (2021). Nanotechnology and covid: Technical solutions in the hunt for inequality. In Erdogdu Mustafa, E. Alaverdov, A. García, & K. Tryma (eds.), *Impacts of covid-19 on societies and economies* (pp. 233–252). IJOPEC Publication.

Resumen

This chapter argues that in the face of the worst economic and health crisis caused by covid-19, the world's nations have opted for technical solutions to solve the pandemic problem. In doing so, they have subordinated anti-Covid technological development to the laws of capitalist accumulation. Consequently, control of the vaccine production chain has remained in transnational companies located in the most developed countries. We use various analysis methods to advance our argument,

including collecting scientific publications, patents, vaccine production, and application. The real success is at the hand of the winners of this pandemic: big pharma.

Boletín VI

Arteaga Figueroa, Edgar. Nanotecnologías en medicamentos y productos de cuidado personal en México. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Nanotecnolog%C3%81a-en-medicamentos-y-productos-para-la-salud-en-Me%C3%81xico.pdf>



Nanotecnologías en medicamentos y productos de cuidado personal en México
Edgar Arteaga Figueroa, marzo 30, 2022

Una de las áreas de aplicación de las nanotecnologías es la industria farmacéutica y de cuidado personal. Algunos nanomateriales ya se han utilizado como marcadores biológicos, agentes de contraste para imágenes, productos para el cuidado de la salud y sistemas de administración de fármacos, así como en la detección, diagnóstico y tratamiento de diversos tipos de enfermedades.⁴⁶

En México se han encontrado al menos 11 empresas que fabrican, en territorio nacional, nanomateriales o productos nanohabilitados para la industria farmacéutica y de cuidado personal, desde sistemas de nanoencapsulado y entrega de fármacos hasta suplementos alimenticios y cremas para el tratamiento de heridas.



Rubio Pharma, en Sonora, desarrolla películas delgadas para la industria farmacéutica.⁴⁷ Estas películas ayudan a la entrega focalizada de fármacos (*drug delivery system*), además son versátiles en

⁴⁶ <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/10717544.2013.844745>

⁴⁷ <http://nsnanotecnologia.com/proyectos/proyectos/>

su ingesta, sea por vía oral, bucal, sublingual, ocular y transdérmica.⁴⁸ La empresa Nanoingredientes Bioactivos (Nanbios), en Coahuila, fabrica sistemas bionanotecnológicos que pueden utilizarse en entrega de medicamentos por vía oral o tópica.⁴⁹ Neolpharma (Ciudad de México) también investiga aplicaciones de nanobiotecnología en tratamientos de cáncer de mama y para el sistema nervioso central⁵⁰ y Liomont (Ciudad de México) utiliza esa misma plataforma para desarrollar medicamentos contra el asma.⁵¹

Únicamente dos empresas, GranaGard (Ciudad de México)⁵² y Nanoscience Labs (Baja California),⁵³ fabrican nutracéuticos y suplementos alimenticios nanohabilitados, mientras que ORTED (Coahuila) fabrica un jabón para manos con nanotecnología, una molécula llamada NBELYAX, y mascarillas con nanopartículas.⁵⁴ En el caso de los productos tópicos, BIONAG (Baja California)⁵⁵ y Nabicron (Guanajuato)⁵⁶ fabrican cremas con nanopartículas de plata para evitar la infección de heridas, principalmente úlceras y pie diabético. La empresa Tesskin (antes Nano Tutt),⁵⁷ con sede en la Ciudad de México, fabrica un «gel nanotecnológico» que previamente se promocionó como antiséptico para heridas del pie diabético; sin embargo, al no haber logrado la aprobación como medicamento por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), y después de haber sido sancionado,⁵⁸ se anuncia ahora como gel dermolimpiador nanotecnológico, y aclaran que se trata de un «producto cosmético sin acción terapéutica».



⁴⁸ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7957312/>

⁴⁹ <https://www.facebook.com/Nanbios-Nanoingredientes-Bioactivos-SA-de-CV-1628491603896274/>

⁵⁰ <https://www.neolpharma.com/images/REPORTE-DE-SUSTENTABILIDAD-2020.pdf>

⁵¹ <https://liomont.com.mx/2019/12/05/planta-biotecnologicos/>

⁵² https://granagard.com.mx/prestashop/index.php?id_product=9&controller=product

⁵³ <https://www.nanosciencelabs.com/>

⁵⁴ <https://orted.mx/nbelyax/>

⁵⁵ <https://www.bionag.com/>

⁵⁶ <https://nabicron.com/humano.html>

⁵⁷ <https://tesskin.mx/>

⁵⁸ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/662782/Resoluciones_y_sanciones_2021_COS_Junio2021.pdf

Mientras algunas empresas mantienen su publicidad sobre contenido de nanomateriales, como ISDIN, que comercializa un bloqueador solar para bebés con nano dióxido de titanio,⁵⁹ otros han retirado sus anuncios sobre incorporación de nanotecnologías; por ejemplo, la crema Innobel se anunciaba en 2021 como «nanocosmético» para cuidado del rostro, en spots de radio e internet, sin embargo ahora su página oficial ha retirado dicha mención, aunque permanecen algunos anuncios en redes sociales.⁶⁰

El carácter habilitador de las nanotecnologías pone en evidencia la delgada línea entre la industria química-farmacéutica-cosmética. Si bien estas 11 empresas declaran explícitamente la producción y venta de productos terminados, hay al menos 3 compañías que elaboran nanomateriales en bruto para ser incorporados en fármacos y cosméticos. Por ejemplo, Carbomex (Puebla) ofrece una gran cantidad de nanopartículas para distintos tipos de cosméticos y bloqueadores solares.⁶¹ Nanoqem (Nuevo León) fabrica nanomateriales base para cosméticos y comercializa un par de bloqueadores solares con nano dióxido de titanio, y Bintis (Nuevo León) desarrolla nanocompuestos a base de hidroxiapatita que se pueden aplicar en cosméticos y en sistemas de liberación de fármacos.⁶²

Las recientes regulaciones europeas sobre el uso de estas partículas en cosméticos (véase boletín sobre nanotecnología en cosméticos)⁶³ abren un área de debate sobre posibles riesgos de la incorporación de nanomateriales manufacturados en productos de cuidado personal, especialmente cuando entran en contacto directo con la piel o el cuerpo.

⁵⁹ <https://www.isdin.com/es-MX/producto/fotoprotector-isdin/fusion-fluid-mineral-baby-pediatrics-spf-50>

⁶⁰ <https://www.facebook.com/InnobelCrema>

⁶¹ https://secureservercdn.net/104.238.71.140/103.7f6.myftpupload.com/documentos/catalogos/WebCat_ES.pdf

⁶² <https://www.bintiseo.com/hidroxiapatita-nanomateriales/>

⁶³ https://relans.org/wp-content/uploads/Boleti%C3%A9n_Regulacio%C3%A9n-de-los-nanomateriales-en-los-productos-cosme%C3%A9ticos-Mariana-reducido-gf-EYBA-07-Dic-1-gf08Final-comentarios-EYBA-09-DIC-1.pdf

Boletín VII

Bracamonte-Arámburo, Ericka. Mascarillas para la Covid icon nanotecnología! Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Nanomascarillas.pdf>; https://relans.org/wp-content/uploads/Traduccio%C3%A9n-boletin_ericka-EYBA-14-nov.pdf



Mascarillas para la Covid icon nanotecnología!

Ericka Y. Bracamonte-Arámburo, octubre 27, 2021

Hemos aprendido la importancia de utilizar mascarillas con el fin de frenar la propagación de los contagios de la covid-19. Esto no es una novedad, en las epidemias por contagio aeróbico o por tóxicos en

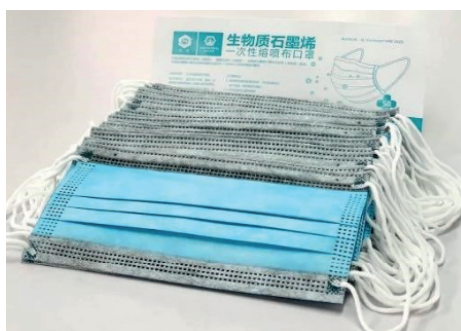
el aire las mascarillas se han utilizado desde tiempos lejanos. El historiador Plinio el Viejo relataba en la Roma del siglo I artesanos que preparaban pintura con minio (compuesto por óxidos de plomo) utilizaban mascarillas para protegerse del polvo tóxico.⁶⁴ En la Edad Media médicos europeos utilizaron mascarillas en forma de pico de pájaro para protegerse de la peste bubónica; otro ejemplo es el de los sirvientes del emperador de la dinastía china Yuan, que servían la comida usando máscaras de seda.



El médico Wu Lien Teh se convirtió en el ícono de la protección a la salud en caso de epidemias con el uso de mascarillas a principios del siglo XX, al haber controlado la «plaga de Manchuria» en el noreste de China.⁶⁵

Un estudio realizado llevado a cabo en Bangladesh en 2021 comprobó una reducción de un 11.2% en aldeas que utilizaban mascarillas contra las que no las utilizaban regularmente, lo cual llevó a concluir que el uso de mascarillas ayudaba a reducir las infecciones sintomáticas causadas por el SARS-CoV-2.⁶⁶

Todo indica que las mascarillas siguen siendo eficientes, sin embargo, todo conlleva sus respectivos riesgos y es importante informarse.



El elevado uso de las mascarillas durante la pandemia ha llevado al uso de nanomateriales en su producción.⁶⁷ Los más utilizados son el óxido de plata, cobre y óxido, peróxidos de magnesio, óxido

⁶⁴ <https://www.globaltimes.cn/content/1179358.shtml>; <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus%3Aabo%3Aphi%2C0978%2C001%3A33>

⁶⁵ <https://www.nytimes.com/2021/05/19/health/wu-lien-teh-china-masks.html>

⁶⁶ <https://www.poverty-action.org/publication/impact-community-masking-covid-19-clusterrandomized-trial-bangladesh>

⁶⁷ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/RA/D0RA10009A>

de zinc, óxido de tungsteno, grafeno y diversos tipos de polímeros y compuestos naturales implementados en varios países. Sin embargo, esta nueva tecnología ha acarreado nuevos riesgos, como la inhalación de estas nanopartículas al soltarse de la mascarilla durante el uso. Algunos países han levantado la alerta. En Francia, la Agencia Nacional de Seguridad Alimentaria (ANSES) envió un comunicado sobre la evaluación de una marca de mascarillas lavables que contienen zeolitas de plata y cobre; también en Bélgica, donde el Instituto Nacional de Salud Pública (Sciensano) mencionó el riesgo pulmonar que provocaban miles de mascarillas distribuidas gratuitamente por el gobierno al desprender nanopartículas de plata y dióxido de titanio durante la inhalación,⁶⁸ asimismo, también esta institución agrega en su última publicación en octubre de 2021 que el dióxido de titanio puede ser potencialmente cancerígeno en caso de inhalación y reafirma que el beneficio del uso de nanopartículas en mascarillas no supera el riesgo que esto conlleva a las personas que las utilizan.⁶⁹ En 2021 organizaciones sociales con sede en Canadá y Estados Unidos realizaron una petición a la Agencia de Protección Ambiental (EPA), a la Administración Federal de Fármacos (FDA) y a la Comisión de Seguridad en productos de consumo de los Estados Unidos para prohibir la importación y venta, y pedir que se retire del mercado las máscaras que contengan grafeno o nano cobre.⁷⁰ En Canadá el padre de un escolar advirtió a las autoridades del país del riesgo por las máscaras de nanografeno y, como consecuencia, Health Canada (la autoridad sanitaria) suspendió esas máscaras. Por todo esto países como Bélgica, Canadá, Francia y España han retirado máscaras con esta tecnología.

Ahora bien, recientemente, la UNAM ha estado trabajando en la creación de una nueva mascarilla que contiene nanopartículas de plata y cobre, que al someterse a un flujo de aire por 24 horas demostró que no hubo liberación de las nanopartículas, y al ponerse en agua también por 24 horas la liberación de aquellas fue mínima, además que la máscara es lavable hasta 10 veces y puede reutilizarse, y también fue probada frente a corrientes de agua, posible penetración en la piel y desprendimiento por humedad.⁷¹

⁶⁸ https://www.lemonde.fr/economie/article/2021/05/06/l-autorite-europeenne-de-securite-des-aliments-ne-considere-plus-le-dioxyde-de-titane-comme-un-additif-fiable_6079396_3234.html

⁶⁹ <https://www.sciensano.be/en/press-corner/study-presence-titanium-dioxide-face-masks-initial-findings>

⁷⁰ <https://www.iatp.org/documents/us-and-canadian-groups-call-ban-face-masks-containing-toxic-nanomaterials>

⁷¹ <https://www.gaceta.unam.mx/hecho-en-cu-cubre-bocas-antimicrobiano/>

Artículos y material de divulgación V

Bracamonte-Arámburo, E., & Foladori, Guillermo (2022). Mascarillas con nanotecnología en la COVID-19. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 86 (en prensa).

Resumen

El artículo analiza el caso de mascarillas para la protección del contagio respiratorio del SARS-CoV-2 elaboradas con nanotecnología y comercializadas en varios países del mundo a lo largo de 2020 y

2021. Algunas de ellas que incorporan grafeno, cobre y plata en escala nanométrica, han sido denunciadas en ciertos países por organizaciones civiles por sus efectos adversos en el organismo, algunos países han optado por retirarlas del mercado. Esto que se expone es ilustrativo de la aplicación de nuevas tecnologías en productos de consumo sin regulación ni fiscalización por los órganos públicos responsables, y llama la atención que algunos de estos productos pueden ser dispositivos médicos, y la necesidad de un enfoque precautorio en la investigación y desarrollo de los productos comercializados en el papel de los órganos reguladores. Este artículo tiene como objetivo llamar la atención sobre innovaciones tecnológicas para atender la covid-19 que puedan desatar efectos adversos.

Artículos de investigación y capítulos de libro XVI

Ortiz Espinoza, Á., Foladori, G., & Bracamonte-Arámburo, E. (2022). Elementos críticos sobre las nanotecnologías en México. *Revista Digital Espacio I+D. Innovación Más Desarrollo*, 11(31) 74-95.

Resumen

Como parte del Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera: una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México, se hizo un cuestionario electrónico exploratorio sobre las investigaciones de nanotecnología para salud/medicina en el país. El propósito fue examinar la perspectiva de los expertos para, posteriormente, realizar entrevistas individuales de mayor profundidad. Dada la riqueza de los datos y el alcance global de las reflexiones, el presente texto busca exponer los resultados obtenidos y analizar las condiciones de las nanotecnologías en México con base en las respuestas. Dentro de los principales resultados se encontró la perspectiva generalizada sobre la necesidad de contar con un inventario actualizado de nanotecnologías en México, así como el desconocimiento de los investigadores en algunos temas de normalización y regulación. Del mismo modo, se observa que el principal inversor en investigación en nanomedicina es el Estado habiendo poca colaboración de los investigadores con la iniciativa privada.

Artículos de investigación y capítulos de libro XVII

Foladori, G., & Bracamonte-Arámburo, E. (2022). Nanomedicina personalizada (en dictaminación).

Resumen

Dada la importancia que podría llegar a tener la nanomedicina para atender las necesidades sociales y lo novedoso de la temática resulta conveniente un seguimiento sistemático y una transparencia de la información a nivel nacional. No es sólo el caso de las vacunas con nanotecnología que ha llamado la atención internacional sobre las posibilidades de esta área de las Nanomedicinas, también las tecnologías CRISPR biotecnológicas, de análisis y manipulación de secuencias genéticas son de gran

actualidad e impacto tanto en la medicina como en la agricultura. Demás está decir que los potenciales impactos económicos, políticos y éticos también colocan estas novedosas tecnologías en una discusión que requiere la participación interdisciplinaria e integrando las ciencias físico-naturales con las humanidades y ciencias sociales.

Póster III

Bracamonte-Arámburo, E., & Foladori, Guillermo (2022). [Póster] Medicina personalizada.

Nanomedicina personalizada
 Guillermo Foladori, Ericka Y. Bracamonte-Arámburo
Proyecto: Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socioeconómicas nacionales (Conacyt-Ciencia de Frontera #304320)

Introducción.

La medicina personalizada comienza muy recientemente en EUA y Europa aproximadamente desde 2015. Se pretende exponer las potenciales contradicciones sociales que pueden surgir en ámbitos políticos, económicos y sociales. En México existe INMEGEN, un centro de medicina genómica



Una mirada de la medicina de precisión desde la salud pública

Medicina personalizada: medicamentos o terapias que tienen como objetivo una diana molecular (ya sea un gen o un producto de este, como proteínas, metabolitos, etc.) que está basado en datos genéticos de un GRUPO o SUBPOBLACIÓN a la cual el paciente corresponde. Resultados exitosos: se ha demostrado efectiva en enfermedades raras, o de un solo gen, diversos tipos de cáncer, predicción a diversos efectos adversos de algunos fármacos. Incertidumbres: se toma al organismo como un ente fijo; no todas las personas son candidatas a un tratamiento de medicina personalizada; al tratarse de subgrupos puede que al irse reduciendo la cantidad de personas candidatas para tal medicamento las farmacéuticas desistan por la pérdida de ganancias.



Tendencias e incertidumbres de la medicina de precisión para la política de salud pública

El organismo sufre mutaciones o cambios epigenéticos, por lo que puede no necesitar el tratamiento que indican sus biomarcadores. La medicina de precisión tiene un enfoque reduccionista. Imposición de un solo tipo de medicina. Desigualdades económicas entre países, regulaciones jurídicas, poco personal capacitado, el interés económico de las farmacéuticas, pocos datos genéticos de personas no europeas.

Referencias

European Alliance for Personalised Medicine. (s/f). Recuperado el 22 de julio de 2022, de <https://www.euapm.eu/>

Foladori, G., & Bracamonte-Arámburo, E. Y. (2022). Nanomedicina personalizada. En dictaminación.

Instituto Nacional de Medicina Genómica. (s/f). Recuperado el 21 de julio de 2022, de <https://www.inmegen.gob.mx/>

Klein, K., Borchard, G., Shah, V. P., Flühmann, B., McNeill, S. E., & de Vlieger, J. S. B. (2021). A pragmatic regulatory approach for complex generics through the U.S. FDA 505(j) or 505(b)(2) approval pathways. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1502(1), 5–13. <https://doi.org/10.1111/nyas.14662>

Antecedentes del tratamiento terapéutico

Desde tiempos milenarios, las diferentes terapias trataban al organismo como unidad, y las enfermedades se explicaban como un desequilibrio corporal; por lo que para sanar la enfermedad se requería regresar al equilibrio de la persona, tomando en cuenta no solo la enfermedad sino diversos factores de la persona y del ambiente. La medicina moderna, hegemónica desde el siglo XX dejó de lado esta tradición privilegiando las partes sobre el todo y la causa externa (e.g. germen como causa de enfermedad), lo cual ha tenido consecuencias como la resistencia a antibióticos o efectos adversos de los fármacos.

Conclusiones

La medicina personalizada tiene como base los datos genéticos de las personas, lo cual tendría ventajas desde el nivel preventivo como en enfermedades ligadas muy estrechamente a lo genético, sin embargo no hay que dejar de lado las controversias que se generan con esto antes de tomar una decisión en materia de política pública.


Septiembre 2022

Agradecimientos






www.relans.org
relans2010@gmail.com

Agricultura y alimentación

En íntima relación con la salud de la población está el área de agricultura y alimentación, lo que también se relaciona con la salud ecosistémica y ambiental. Las nanotecnologías no están ausentes de estos sectores. El proyecto ha avanzado en esta área tanto en investigación con la elaboración de artículos científicos, como en la divulgación. El primero que anotamos abajo tiene que ver con las implicaciones del cambio en la política de ciencia y tecnología a partir del 2019 con el nuevo gobierno en México, y los retos para el sector agrícola en relación a las nanotecnologías. Este artículo fue mencionado en el apartado 1 de la primera

sección. El segundo se refiere a la agricultura de precisión, en creciente desarrollo no sólo en los países avanzados sino también en algunos de América Latina. Siguen dos bases de datos a partir de análisis de la Web of Science. Por último, incluimos tres artículos de divulgación sobre temas que abarcan la agricultura, alimentación y riesgos a la salud y ambiente.

Artículos de investigación y capítulos de libro XVIII

Anzaldo Montoya, M., & Hernández-Adame, L. (2022). Problematicación de la investigación en nanotecnología agrícola y alimentaria en el marco de la nueva política de ciencia, tecnología e innovación en México. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-24e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69683>

Resumen

Los debates en la literatura sobre políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) argumentan la importancia de reconciliar la oferta y la demanda de conocimientos para enfrentar las desigualdades sociales. En este trabajo, problematizamos la oferta y la demanda de conocimientos científicos en el campo de la nanotecnología (NT) agrícola y alimentaria, en el contexto de un cambio en la concepción de la política de CTI que acompaña la llegada del nuevo gobierno federal en el año 2018. Para operacionalizar estas dimensiones, primero realizamos un mapeo de los proyectos de investigación aprobados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el periodo 2012-2019. Posteriormente, examinamos las demandas de investigación establecidas por el consejo en torno a los sistemas agroalimentarios. Con ello, discutimos las condiciones de posibilidad que tiene la NT agrícola y alimentaria para responder tales demandas. Concluimos que los cambios en la concepción de ciencia significan nuevas prioridades de investigación para los sistemas agroalimentarios del país, entre ellos, contribuir a la soberanía alimentaria y la sustitución de agroquímicos en el campo; pero más aún, plantean retos para reflexionar sobre: ¿cómo podemos hacer para que la NT agrícola y alimentaria contribuya a alcanzar una agricultura justa con los productores rurales y respetuosa con el ambiente?

Artículos de investigación y capítulos de libro XIX

Foladori, Guillermo. (2022). El doble carácter del trabajo en la cuestión ambiental: Ilustración en la agricultura de precisión. In A. Ramírez & Z.R. de J. López (eds.), *Debates sobre medio ambiente y sustentabilidad: Teoría, educación y nuevas sociedades*. El Colegio de Tlaxcala, A.C. (en prensa)

Resumen

El artículo analiza el carácter de clase que tienen las tecnologías de precisión en la agricultura. Estas tecnologías, que son un desarrollo de la inteligencia artificial, contienen numerosos dispositivos

nanotecnológicos y por su inserción en las relaciones sociales de producción capitalistas cumplen el papel de incentivar la concentración del capital en manos de las grandes corporaciones.

La siguiente base de datos visualiza la evolución de las publicaciones sobre el tema:

Bases de datos X

Anzaldo Montoya, M. (2022). Agenda de investigación pública y privada sobre nanotecnología en agricultura y alimentación en México. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt No. 304320. Conacyt.

Agenda de investigación pública y privada en Agronanotecnología y Alimentación en México

Mónica Anzaldo Montoya

Existen diversos indicadores para medir y evaluar los resultados de la actividad científica; entre los principales encontramos: la producción y la productividad científica, la especialización por disciplinas, el impacto y visibilidad basado en citas, las dinámicas y patrones de colaboración y las citas en patentes (Sancho-Lozano, 2002). El estudio de la producción sigue siendo el más utilizado ya que, por el momento, los artículos científicos son la forma más aceptada por la comunidad científica para comunicar sus ideas. Además, el análisis comprensivo de estas unidades constituye una manera de acercamiento al proceso de producción del conocimiento, a las dinámicas de las comunidades y a las tendencias en las agendas de investigación (Callon, Courtial y Penan, 1995; Wallace y Ráfols, 2018). Este apartado expone brevemente la producción científica nacional asociada a las nanotecnologías aplicadas a la agricultura y la alimentación (A&A), misma que se generó realizando un estudio bibliométrico cuyos rasgos generales se describen a continuación.⁷²

El estudio bibliométrico identificó 298 trabajos en el periodo de 2004 a 2020, utilizando como fuente de información la base de datos Web of Science (WoS). El 75% de los trabajos está tipificado como artículo, 17% son revisiones y el restante 7% son capítulos de libro y actas de congresos. El 97% de los trabajos se publicaron en idioma inglés y el resto en español. Los trabajos fueron publicados en 204 títulos de distintas revistas. La comunicación de los resultados es altamente dispersa, es decir, no se logró identificar una revista o grupo de revistas en particular donde la comunidad esté comunicando sus resultados de investigación. En este sentido, las fuentes que más trabajos acumulan son: *International Journal of Biological Macromolecules*, y *Molecules* con 7 trabajos cada una. Este patrón se repite en el plano internacional. Al realizar el ejercicio en la base de datos de WoS encontramos que el 50% de los títulos de las revistas registra sólo una publicación.

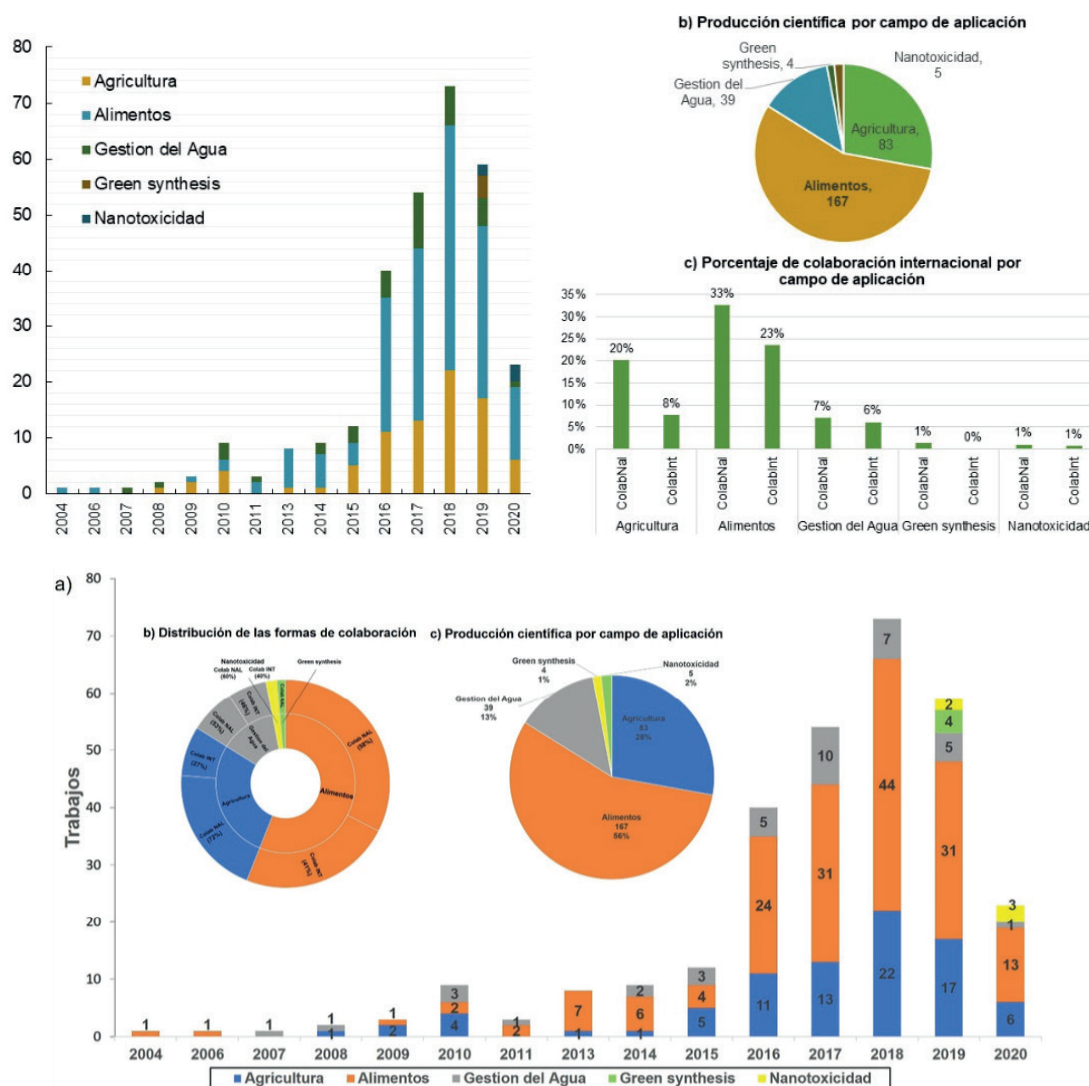
La figura 1 presenta la evolución de la producción científica en el campo de las nanotecnologías aplicadas a la A&A en México. La evolución muestra una tendencia ascendente a lo largo del periodo con una tasa de crecimiento anual promedio de 51%. Se observa un periodo inicial de escasa

⁷² Los resultados del estudio bibliométrico han sido publicados en Anzaldo Montoya & Hernández García, 2020.

producción y el mayor incremento en el año 2018. La caída de la gráfica en el año 2020 se debe al efecto de la recuperación de los trabajos a agosto de ese año. A modo de referencia, en México la investigación en nanotecnologías en general produce más de 300 artículos al año (OICTI, 2008:33).

En cuanto al tipo de aplicación encontramos que, a lo largo de los quince años que abarca el periodo de estudio, poco más de la mitad de los trabajos se encuentra en la categoría de alimentos (56%), seguido de la agricultura (28%) y, en tercer lugar, las aplicaciones en gestión del agua (13%); el resto de los trabajos corresponde a las categorías de nanotoxicidad y *green synthesis* 1.7% y 1.3% respectivamente (figura 1).

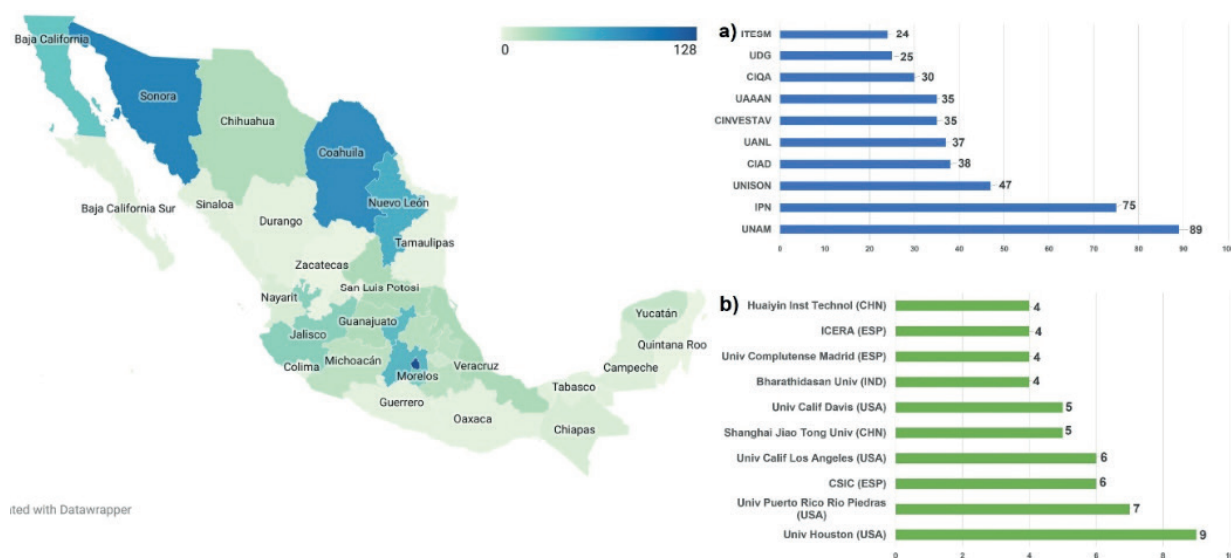
Figura 1. Panorama de la producción científica en nanotecnología aplicada a la agricultura y la alimentación en México. a) Evolución de la producción. b) Producción científica por campo de aplicación. c) Porcentaje de colaboración internacional por campo de aplicación



Fuente: elaboración propia con datos de WoS.

La figura 2 presenta tres aspectos de la producción científica: la distribución de las publicaciones por entidad federativa, las principales instituciones de I+D nacionales y las instituciones extranjeras con mayor número de coautorías. Como puede apreciarse, la Ciudad de México, Sonora y Coahuila son las entidades con mayor número de artículos, juntas acumulan prácticamente la mitad de la producción científica en el tema. En general, el centro, el noreste y algunos estados del occidente del país muestran ciertas capacidades de investigación; por el contrario, la región sur, con excepción de Veracruz, presentan una producción escasa.

Figura 2. Distribución geográfica de la producción científica en nanotecnología aplicada a la agricultura y la alimentación en México (2004-2020). a) Principales instituciones nacionales.
b) Principales instituciones de colaboración internacional



Fuente: elaboración propia con datos de WoS.

En cuanto a las instituciones, destacan la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), las cuales concentran buena parte de las contribuciones. Le siguen la Universidad de Sonora (Unison), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav). Por el contrario, aparecen muy poco los centros de investigación dedicados al sector agroalimentario como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (con tres registros).

En el estudio se identificaron dos empresas coautoras: Rubio Pharma y la consultora Logre International Food Science. La primera de ellas está vinculada en un trabajo con el CIAD, la Unison y el Cinvestav-Mérida, en el desarrollo de nanocápsulas para la entrega de sustancias; la segunda es una consultora que publicó un trabajo sobre la regulación de aditivos alimentarios. En definitiva, la diversidad de actores es muy baja, a pesar de que el grueso de los trabajos se dirige a la etapa de

procesamiento de alimentos donde podría interesarse el sector privado. De igual manera, no identificamos relación con organizaciones del sector rural.

En cuanto a las coautorías con instituciones extranjeras, las relaciones más frecuentes se dan con la Universidad de Houston, la Universidad de Puerto Rico Río Piedras y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España. En el tema de nanoalimentos encontramos que la colaboración internacional es diversa, lo cual es positivo si consideramos que México se ha caracterizado por una marcada dependencia de la colaboración científica con Estados Unidos.

Agronanotecnología industrial en México: entre la competitividad y la sustentabilidad

Dentro de los países de la OCDE se estima en 1,804 el número de compañías activas en nanotecnologías (OCDE, 2019). La base de datos Stat Nano identifica más de dos mil quinientas compañías a nivel mundial.⁷³ En México, de acuerdo con la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Esidet) 2019, existen 144 empresas que realizan actividades relacionadas con el uso de la NT (INEGI/Conacyt, 2019).⁷⁴ La información que proporciona la encuesta es muy limitada y no es posible acceder al nombre de la empresa y las aplicaciones que comercializa dado que son datos confidenciales.

Dado lo anterior, para identificar los esfuerzos de innovación en el país, tomamos como fuente de información el Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (PEI). El PEI fue un programa creado por el Conacyt en 2009 bajo la premisa de «fomentar la inversión privada en ciencia y tecnología, resolver los problemas de coordinación y vinculación entre la academia y el sector productivo y resolver problemas de las empresas» (Conacyt, s/f:11). Este programa consistió en la transferencia directa de recursos públicos al sector privado para el desarrollo de proyectos de innovación⁷⁵ y estuvo vigente de 2009 a 2018, tiempo en el que se aprobaron 6 472 proyectos, por un monto de 55 265 millones de pesos. De estos recursos, 47% fueron aporte fiscal y el resto de las empresas beneficiadas.⁷⁶ Entre los resultados esperados por parte del programa se encuentran más inversión privada para I+D, aumento en los registros de propiedad intelectual (patentes, derechos de autor), formación de recursos humanos y empleo.

El PEI fue uno de los instrumentos más importantes de la política de CTI del sexenio pasado. Éste se encuadra en modelos de países del Norte global como el de la triple hélice y los sistemas nacionales de innovación, así como las recomendaciones de la OCDE al gobierno mexicano en su reporte de 2010 que, en términos generales, indicaban implementar estímulos fiscales e incentivos a las pequeñas y medianas empresas innovadoras (OCDE, 2010). Este tipo de instrumentos también

⁷³ <https://product.statnano.com/>

⁷⁴ En 2016 hubo un total de 2,099 empresas que llevaron a cabo actividades de IDT intramuros en México (INEGI/Conacyt, 2019).

⁷⁵ El subsidio que entregaba el Conacyt a las empresas no podía ser mayor al 50% del costo del proyecto.

⁷⁶ Cálculo realizado con la base de datos de los proyectos aprobados por el PEI-Conacyt utilizada en esta investigación.

permiten reconciliar la oferta y la demanda de conocimientos entre los actores del sector público, privado y social (Sarewitz y Pielke, 2007).

En el análisis del PEI identificamos 27 proyectos relacionados con NT aplicada a la A&A, de éstos, 14 son en el sector alimentario y 13 del sector agrícola. El monto asignado al total de estos proyectos fue de 125.5 mdp distribuidos en 23 empresas, la mayoría de ellas (74%) son micro y pequeñas empresas. En este trabajo nos centramos sólo en los proyectos del sector agrícola.

El cuadro 1 muestra lo proyectos de innovación aprobados en el sector agronano categorizados según su aplicación. Los fertilizantes y plaguicidas, por ejemplo, son las aplicaciones más frecuentes, seguido de los recubrimientos para aplicaciones plásticas de invernaderos. Los cultivos de interés son jitomate, cebolla, papa y pimienta, así como para el mercado de semillas en general. El sector cárnico obtuvo un proyecto para el tratamiento de aguas residuales provenientes de su proceso de salado en pieles. Vale la pena mencionar el proyecto relacionado con la Agricultura 4.0 el cual propone el prototipo de una ecoplataforma para agricultura de precisión acompañada de nanotecnologías. Esto es un ejemplo discreto que sigue la tendencia del inicio del nuevo paradigma tecnoeconómico llamado Industria 4.0 (sobre el tema puede verse UNCTAD, 2021).

En suma, el análisis permite ilustrar una perspectiva de los tópicos de interés del sector privado y las tendencias en las aplicaciones que se desarrollan en el país. Además, se tiene la ventaja de que son proyectos que pasaron por un proceso de evaluación verificable.

Cuadro 1. Proyectos agronano en el Programa de Estímulos a la Innovación del Conacyt, 2009–2018

<i>Aplicación</i>	<i>Empresa</i>	<i>Entidad</i>	<i>Tamaño de empresa</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo total del proyecto (mdp)</i>	<i>% Aportado por la empresa</i>
Agricultura 4.0	Electro Systems and Technological Solutions	Veracruz	Mipyme	Ecoplataforma para agricultura de precisión aplicando micro/nanotecnología e inteligencia artificial, así como materiales y procesos sostenibles, dirigidos a incrementar la productividad y competitividad del sector agrícola.	12 780 372	44%
Bioestimulantes	Corporativo de Desarrollo Sustentable	Michoacán	Mipyme	Desarrollo de nanopartículas promotoras del crecimiento vegetal de origen bacteriano a partir de trichoderma.	12 379 277	40%
Empaques alimenticios	Rotoinnovacion	Chiapas	Mipyme	Desarrollo de contenedor agroindustrial nanoestructurado respuesta rápida al calor y utilizando energía renovable alternativa.	17 868 000	43%

<i>Aplicación</i>	<i>Empresa</i>	<i>Entidad</i>	<i>Tamaño de empresa</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo total del proyecto (mdp)</i>	<i>% Aportado por la empresa</i>
Fertilizantes o plaguicidas	Algas y Extractos del Pacífico Norte AEP	Baja California	Mipyme	Desarrollo nanotecnológico de una nueva formulación de plaguicida orgánico basado en algas marinas y encapsulación de «Ion Cobre» en nanopartículas, para el control de patógenos de interés del sector agrícola.	3 910 513	36%
	BAI Bioconsultoría Agrícola Integral	Sinaloa	Mipyme	Fertilizantes líquidos elaborados con nanoconcentrados en el Complejante Ácidos Hidroxipolicarboxílicos (HPC) para lograr una absorción total de estos elementos en los cultivos o en el suelo.	15 527 350	44%
	Corporativo de Desarrollo Sustentable	Michoacán	Mipyme	Desarrollo de nanopartículas promotoras del crecimiento vegetal de origen bacteriano a partir de pseudomonada-ceas especialmente para el mercado de los productores de semillas.	10 984 456	28%
	Extrisa	Coahuila	Mipyme	Desarrollo de una película para acolchado agrícola con nanopartículas de aceites esenciales repelentes de insectos contra plagas en cultivos de importancia agroindustrial.	8 302 940	44%
	Tecnologías Agribest	Ciudad de México	Mipyme	Bioinsecticida-biofertilizante a base de nanoencapsulados de extractos vegetales contra plagas en cultivos agrícolas.	17 906 363	44%
	Agricultura Nacional	México	Grande	Desarrollar un nuevo agro-químico con ingredientes nanoestructurados para la protección de cultivos de jitomate, cebolla y papa.	2 784 987	65%
Industria cárnica	Integradora de Ganaderos de Engorda de La Laguna	Durango	Grande	Formulación de nanopartículas que sustituya el proceso de salado de las pieles para su conservación y permita reducir la presencia de sal en las aguas residuales.	6 140 881	58%

Aplicación	Empresa	Entidad	Tamaño de empresa	Descripción	Costo total del proyecto (mdp)	% Aportado por la empresa
Recubrimientos	Agrointer	Sinaloa	Mipyme	Mallas micro y nanoestructuradas para el control de temperatura para invernadero y acolchado de suelos en ambientes protegidos.	3 932 878	42%
	Grupo Pintone	San Luis Potosí	Mipyme	Recubrimiento a base de nanopartículas cuya función es regular el paso de la radiación UV y para su aplicación en las cubiertas plásticas de invernaderos de los cultivos de tomate y pimiento.	5 927 160	56%
Uso de desechos agroindustriales	Nanoingredientes Bioactivos	Coahuila	Mipyme	Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la obtención de ácido kójico y su aplicación en el tratamiento dirigido hacia la hiperpigmentación en la piel empleando un bioconjugado de nanopartículas-aptámeros.	7 103 600	41%

Fuente: elaboración propia con información de las bases de datos del PEI-Conacyt (varios años).

Referencias

- Callon, M., Courtial, J.P. y Penan, H. (1995). *Cienciometría. La medición de la actividad científica: de la bibliometría a la vigilancia tecnológica* (No. 020.727 C163). Ediciones Trea.
- Conacyt. s/f *Resultados y casos de éxito es producto de un riguroso y amplio análisis de la trayectoria del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación*. Ciudad de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [INEGI-Conacyt] (2019). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) 2017. Comunicado de prensa núm. 633/19 28 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/OtrTemEcon/ESIDET2017.pdf>
- Hernández-García, Y.I., y Anzaldo, M. (2021). Flow of ideas in the study of communication channels and references in publications on nanotechnology applied to food and agriculture in Mexico. *Scientometrics*, 126(2), 995-1017.
- Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología e Innovación [OICTI], (2008). *La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias* Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología e Innovación. Disponible en: <https://observatorioocts.oei.org.ar/2010/03/27/la-nanotecnologia-en-iberoamerica-situacion-actual-y-tendenciasq/>

- Parisi, C., Vigani, M. y Cerezo, E.R. (2014). Proceedings of a Workshop on 'Nanotechnology for the agricultural sector: From research to the field' (no. jrc89736). Joint Research Centre. Disponible en: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/jrc89736>.
- Sarewitz, D., & Pielke Jr, R.A. (2007). The neglected heart of science policy: reconciling supply of and demand for science. *environmental science & policy*, 10 (1), 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.10.001>
- Wallace, M.L. y Ráfols, I. (2018). Institutional shaping of research priorities: A case study on avian influenza. *Research Policy*, 47 (10), 1975-1989. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.07.005>

Boletín VIII

Arteaga Figueroa, Edgar Ramón. Nanotecnología en alimentos en México. Proyecto Ciencia de Frontera 304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Nano-Food-Final-Oct-24.pdf>



Nanotecnología en alimentos en México
Edgar Arteaga Figueroa, septiembre 20, 2021

A mediados de la década pasada, Francia, Bélgica y otros países comenzaron a exigir a industrias, comercios e importadores registros sobre compras, ventas, producción e incorporación de nanomateriales en sus procesos productivos. Algunos materiales nanoparticulados están siendo prohibidos en la Unión Europea y los Estados Unidos en productos de consumo como alimentos y otros que están en contacto directo con los usuarios y se consideran tóxicos (véase nota ¿Es tóxica la ingestión de nano plata?). Es el caso de algunas aplicaciones de nanotubos de carbono, grafeno, nanodióxido de titanio, o nanoplata. Recientemente, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) prohibió un aditivo alimentario de dióxido de titanio conocido como E171 y utilizado como blanqueador en confitería (dulces, goma de mascar, glaseados), pasteles y productos lácteos. La EFSA no logró establecer una ingesta diaria aceptable de E171, por lo que ya no se considera seguro cuando se utiliza en alimentos.⁷⁷



⁷⁷ <https://www.efsa.europa.eu/en/news/titanium-dioxide-e171-no-longer-considered-safe-when-used-food-additive>

Las nanociencias y las nanotecnologías permiten el entendimiento y control de la materia a una escala aproximada de entre 1 y 100 nanómetros.⁷⁸ En esta magnitud las propiedades de los materiales cambian, permitiendo aplicaciones generalizadas en todos los sectores económicos. Desde principios de siglo, los nanomateriales se han introducido en el mercado como materia prima, como dispositivos y también en los productos finales sin considerar si las nuevas propiedades químico-físicas también implican toxicidad novedosa. Sólo recientemente algunos productos están siendo regulados.

En México, la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Esidet) de INEGI ofrece datos estadísticos sobre empresas que utilizan nanotecnología en sus procesos productivos. La del 2016 estimó en 144 las empresas que trabajan con nanotecnologías en el país.⁷⁹ La Ciudad de México y Nuevo León concentraban el 46% de las empresas en nanotecnología, seguidos de los estados de San Luis Potosí, México, Jalisco y Chihuahua con el 7% cada uno. La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) realizó un inventario en 2021 encontrando 163 empresas que manufacturan o comercializan productos con nanotecnologías. En él hay 24 empresas que fabrican nanomateriales y productos nanohabilitados para la industria alimentaria. Aunque no todos los nanomateriales son necesariamente tóxicos, las agencias reguladoras deberían restringir su venta hasta no demostrarse que son seguros, como está ocurriendo tímidamente en la Unión Europea. El inventario mencionado contiene algunas marcas muy populares, como Brenntag México y AIG Sinergia que venden dióxido de titanio como ingrediente de repostería y confitería; Lala y Rancho Lucero que realizan procesos de nanofiltración de lácteos; Sigma Alimentos, Pepsi y Kraft México con envases nanohabilitados para alimentos; o Margrey que aplica nanoemulsiones para proteger frutas. Estos productos y procesos utilizan nanopartículas de dióxido de titanio, de óxido de zinc, de silicio, plata y están en los anaqueles de los supermercados sin etiquetado y pruebas de potencial toxicidad.

⁷⁸ <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>

⁷⁹ <https://www.inegi.org.mx/programas/esidet/2017/#Tabulados>

Boletín IX

Arteaga Figueroa, Edgar Ramón. Nano dióxido de titanio en alimentos en México. Proyecto Ciencia de Frontera 304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Nano-dio%CC%81xido-de-titanio-en-Me%CC%81xico.pdf>



Nano dióxido de titanio en alimentos en México

Edgar Arteaga Figueroa, abril 1, 2022

Las nanopartículas de dióxido de titanio (nanoTiO_2) son uno de los nanomateriales más producidos en todo el mundo.⁸⁰ El nanoTiO_2 es originalmente reconocido por su gran capacidad de absorber rayos ultravioleta, por lo que se ha utilizado ya en cosméticos y bloqueadores solares. Pero también es ampliamente utilizado en la industria alimentaria.⁸¹ El nanoTiO_2 (también conocido como E171) es un polvo blanco, comúnmente empleado en confitería (dulces, goma de mascar, glaseados), pasteles y productos lácteos.⁸² Estas nanopartículas se usan como aditivo en los alimentos o en diversas etapas de la producción y envasado de alimentos;⁸³ por ejemplo, pueden emplearse, conjuntamente con nanopartículas de óxido de zinc, en películas antibacteriales. En México, el Proyecto Ciencia de Frontera 304320 ha detectado 163 empresas que fabrican o aplican nanomateriales a sus procesos productivos. De ellas, 11 producen nanoTiO_2 y tienen sede física en México;⁸⁴ todas se dedican a la producción de químicos básicos o nanopartículas para otras industrias, pero en 2 de ellas se encontró venta de nanoTiO_2 para la industria alimentaria como ingrediente de repostería y confitería (Brenntag México y AIG Sinergia).

Además, el Center for Food Safety (CFS), una organización estadounidense sin fines de lucro, realizó una base de datos interactiva llamada «Nanotechnology in our Food». Esta iniciativa ofrece información sobre diferentes productos que dieron positivo a contenidos con nanopartículas manufacturadas adicionales. La base tiene alcance internacional y permite verificar la existencia de nanomateriales en alimentos por empresa, país de origen y producto nanohabilitado. El cuadro presenta información sobre aquellos alimentos con nanoTiO_2 que son importados y pueden adquirirse en tiendas y supermercados de México con relativa facilidad.

⁸⁰ Lidera la producción mundial junto con el nanodióxido de silicio (nanoSiO_2) y el nanoóxido de zinc (nanoZnO). Véase Vance *et al.*, (2015). En: <https://www.beilstein-journals.org/bjnano/articles/6/181>

⁸¹ Véase Setyawati *et al.*, (2015). En: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sml.201403232>

⁸² <https://www.anses.fr/en/content/titanium-dioxide>

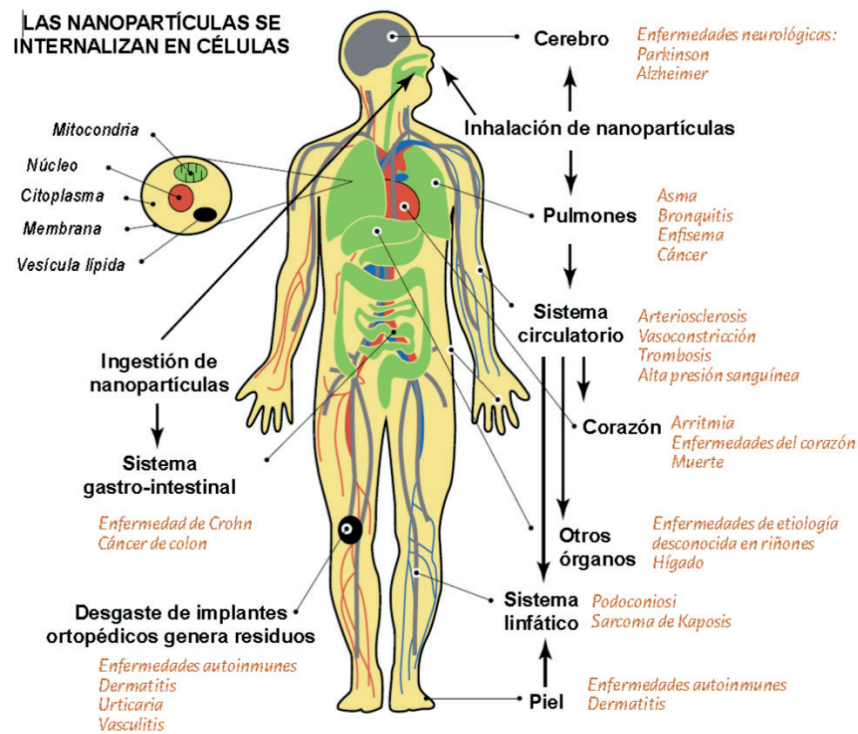
⁸³ Véase Bumbudsanpharoke & Ko, (2015). En: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.12861>

⁸⁴ Nanomat (NL), Nanomateriales (NL), Carbomex (Pue), Nanocron Nanotecnología (Hgo), AIG Sinergia y Representaciones (CDMX), Colhei (CDMX), Jalmek Científica (NL), Microhule Químicos S.A. de C.V. (EdoMex), Brenntag México (EdoMex), Total Products International (Veracruz), ID-Nano (SLP).

Alimentos importados con nanoTiO₂ en México

Empresa	Producto nanohabilitado
Betty Crocker	Harinas para pastelería
LG	Refrigeradores
Gerber	Alimentos para bebé
Hersheys	Chocolates y coberturas para repostería
Mars	Chocolates y dulces confitados
Mondelèz International	Galletas con chispas de chocolate
Cadbury Adams USA	Goma de mascar

Fuente: elaboración propia con información del Center for Food Safety (2021).⁸⁵



Fuente: traducido de Canada, E. and S. D. (2018, January 16). Engineered nanoparticles: Health and safe considerations [Recommendations]. <https://www.canada.ca/en/employment-social-development/services/health-safety/reports/engineered-nanoparticles.html>

El incremento de productos que contienen nanoTiO₂ va de la mano con una creciente preocupación asociada a posibles riesgos en su ingesta. Evaluaciones recientes han demostrado que no es seguro utilizar el E171 en alimentos. De acuerdo con el CFS, las nanopartículas de dióxido de titanio son lo suficientemente pequeñas como para atravesar el intestino y llegar a órganos donde puede

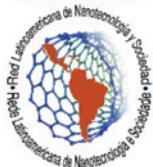
⁸⁵ <https://www.centerforfoodsafety.org/issues/682/nanotechnology>

dañar el ADN y alterar la función celular.⁸⁶ Los Estados miembros de la Comisión Europea (CE) emprendieron una estrategia para prohibir el uso de E171 como aditivo alimentario a partir del segundo semestre de 2022,⁸⁷ tras una evaluación de seguridad y recomendación de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).⁸⁸ En México, sin embargo, se fabrican y comercializan productos alimentarios con nanoTiO₂ en un contexto donde el tema de los riesgos para la salud y el medio ambiente de los nanomateriales manufacturados ha estado ausente en la gran mayoría de los esfuerzos de investigación.

Boletín X

Arteaga-Figueroa, E (2021). Nanotecnología en agricultura en México. Boletín Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera 204320. www.relans.org.

ReLANS



Nanotecnología en agricultura en México

Edgar Arteaga Figueroa, septiembre 20, 2021

El 31 de diciembre de 2020 el gobierno mexicano lanzó un decreto donde se establece un periodo de 3 años, que culmina el 31 de enero de 2024, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química *glifosato* y de los agroquímicos utilizados en nuestro país que lo contienen como ingrediente activo.⁸⁹ El decreto se sustenta en dos aspectos centrales. El primero es el Principio de Precaución, el segundo son los hallazgos científicos sobre efectos nocivos a la salud humana (y otros seres vivos), siendo un potencial cancerígeno.

Bajo este criterio otras sustancias debieran analizarse y regularse antes de entrar al mercado, como los nanomateriales utilizados en la agricultura. Gracias a sus propiedades novedosas, estos materiales permiten obtener ventajas de rendimiento sobre los agroquímicos convencionales. Las nanopartículas en el rango de 1 a 100 nanómetros poseen una alta actividad biológica, así como alta reactividad catalítica, mayor área de superficie, resistencia al calor y otras propiedades que ayudan a mejorar el contenido nutricional del suelo y, por tanto, la producción agrícola;⁹⁰ pero, la mayoría de estos productos no ha sido evaluada en términos de su potencial toxicidad para el ser humano y ambiente.

⁸⁶ <https://www.centerforfoodsafety.org/press-releases/4075/new-database-shows-nanotechnology-in-common-food-products>

⁸⁷ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEX_21_5165

⁸⁸ <https://www.efsa.europa.eu/en/news/titanium-dioxide-e171-no-longer-considered-safe-when-used-food-additive>

⁸⁹ https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020

⁹⁰ Dhir, B. (2021). Nanofertilizers and their applications. En R. Kumar, R. Kumar, & G. Kaur (eds.), *New Frontiers of Nanomaterials in Environmental Science* (pp. 229–242). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-9239-3>



En México se detectó la presencia de al menos 17 empresas que fabrican y comercializan productos nanohabilitados para la agricultura: fertilizantes (BIOTECH, Agrichem, Plant Health Care, Bioconsultora Agrícola Integral, Asgrow), plaguicidas (Algas y Extractos del Pacífico), estimulantes radiculares (KOL México), fungicidas (Nanoagro Solutions), bionanotecnología de nutrición (Bioteksa, BIOSUSTENTIA), sistemas de agricultura de precisión (Electro Systems and Technical Solutions), suplementos de nutrición, inoculantes y cuidado de cultivos (Extrisa, Tecnologías Agribest, Agricultura Nacional) y textiles para invernaderos (PGI, Agroiinter, Grupo Pintone). La mayoría están localizadas en la Ciudad de México y zonas de especial importancia para la actividad agrícola, como Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Chihuahua, Coahuila, Veracruz, Jalisco y Baja California.

Reflexión final de la segunda sección

En el correr de un año y medio se ha ido consolidando un equipo de investigación, como puede constatare revisando la participación de cada uno de los integrantes en los diferentes productos obtenidos. Son en total 10 boletines, 5 artículos de divulgación, 19 artículos de investigación y capítulos de libro, 9 bases de datos y 3 pósters. No se incluyen en esta antología las presentaciones a congresos, seminarios y otras actividades. Todo indica que, en lo que falta del proyecto, se podrá avanzar aún más en este sentido. Al contar con estudiantes de licenciatura, de maestría —estancia corta— y de varias doctorandas y postdoctorandas se ha logrado cubrir diferentes niveles de la enseñanza que condujeron a la sistematización de métodos y procesos de trabajo comunes.

La mayoría de los boletines de divulgación, redactados por diferentes miembros del equipo de investigación, fueron difundidos por la seccional latinoamericana y del Caribe de la International POPs Elimination Network (IPEN), una ONG ambientalista de alcance mundial con decenas de ONG asociadas en la región. Algunos de estos boletines también fueron colocados por el IPEN en sus informes mensuales en la página de Facebook. Este esfuerzo de vinculación y extensión fue incrementado

con un póster elaborado en asociación con IPEN y con la organización de un video sobre el tema que fue colocado en la web.

Se han establecido vínculos a nivel profesional con otras asociaciones y redes académicas, y presentado varios seminarios y conferencias, actividades que no fueron recopiladas en esta antología.

En referencia a los contenidos de la investigación, tanto en información y bases de datos, como en su análisis y reflexión teórica relacionada, hay algunos planteamientos hipotéticos que puntuamos a seguir:

A nivel científico-discursivo el término nano se ha subsumido a otros más amplios como el de materiales avanzados o materiales inteligentes; y, en el ámbito tecnológico, las nanotecnologías se subsumieron a la internet de las cosas, la inteligencia artificial, las redes globales y otras. Todas estas nuevas tecnologías que despuntan durante la segunda década tienen un común denominador: la fuerte presencia de los sistemas digitales y de inteligencia artificial. Sin desmerecer la enorme potencia que ha demostrado la inteligencia artificial en impulsar a la ciencia y tecnología, hay que llamar la atención sobre el impacto teórico, metodológico y político que conlleva. La inteligencia artificial está basada en el reconocimiento de patrones estadísticos de bases de datos del pasado para elaborar caminos hacia desarrollos futuros.⁹¹ Esto hace que todos los patrones de inequidad y desigualdad sean reproducidos (Mittelman, 2022; Pasquinelli, 2019). Sin pretenderlo de manera necesariamente consciente, los algoritmos funcionan como un instrumento automático de reproducción de las relaciones sociales capitalistas. Esto se manifiesta en la influencia que tiene en las investigaciones, desde el diseño hasta los resultados finales. Las nanotecnologías no escapan a esta tendencia y este proyecto ha colocado ejemplos en el caso de la agricultura y de la medicina.

En términos políticos el hecho de que la información esté controlada a escala global por enormes corporaciones, como Google, Apple o Amazon, y sin regulación en la mayoría de sus expresiones, levanta el interrogante de si los instrumentos que crean se pueden ajustar estratégicamente a las demandas y objetivos de desarrollo de un país, como sería el caso de México. Material de la investigación de este proyecto sobre temas específicos abordados, como las 5G y el control corporativo de los satélites, la minería y sus procesos automatizados, la agricultura y alimentación con la agricultura de precisión, y la genómica y nanomedicina con la medicina personalizada, ofrece información específica sobre la conexión entre tales sectores de investigación y desarrollo, y de producción y mercado con los avances en la digitalización y la inteligencia artificial. Se trata de un gran reto para la reflexión política sobre ciencia, tecnología e innovación. Otro aspecto es el desafío que ofrecen los sistemas de inteligencia artificial para metodologías que busquen desarrollos alternativos. El andamiaje de estas nuevas tecnologías basado en algoritmos reproduce y hasta profundiza diferencias y desigualdades existentes, algo que metodológicamente es contradictorio con la propuesta de Conacyt de dar lugar a metodologías de frontera. La contradicción entre el pasado que se reproduce y un futuro que debe romper con lo conocido para poder superarlo es un desafío a enfrentar; aunque tal contradicción sea imprescindible de mantener en tanto representa la base científica existente.

⁹¹ La búsqueda de patrones en contextos con otra información ha causado reconocidas calamidades de la inteligencia artificial desde resultados racistas hasta atentados militares imprevistos.

La mención a una tendencia objetiva que aglutina los avances sectoriales en tecnologías homogéneas basadas en materiales inteligentes y en corporaciones transnacionales conocidas obliga a una reflexión que va mucho más allá de la relación técnica específica en cada caso y que requiere de un trabajo interdisciplinario. Mientras Google, Apple y otras corporaciones comienzan a controlar, además de información en general, sectores productivos como la medicina, la alimentación y agricultura —ejemplos abordados en esta antología, e inclusive sectores de la industria militar, la educación superior en las diferentes áreas continúa restringida al tema particular, sin prestar atención al proceso real de confluencia interdisciplinaria y de concentración de la producción. Las nanotecnologías no escapan a esta característica como se insinúa en los datos generales de la educación superior en nanotecnologías en México colocados por esta antología.

Señalado ese gran desafío, es natural preguntarse cómo se ubica México en tal contexto y en relación con las nanotecnologías. Ciertamente es que el país ha avanzado, si se mide por publicaciones, patentes, centros de investigación y producción y mercado. Queda, sin embargo, la pregunta de la forma en que ha avanzado. Al respecto este proyecto ha detectado varias ausencias. La más visible es la falta de un sistema de seguimiento de los avances de las nanotecnologías y otras tecnologías asociadas por parte del sector público. Esto es una barrera para el desarrollo de una agenda pública en la temática y una coordinación de los recursos materiales y humanos (Saldívar Tanaka, 2022). Otra ausencia es la orientación que ha seguido México respecto del tema regulatorio, en gran medida dejando que el mercado establezca el camino de la investigación y desarrollo. Los avances de este proyecto en temas de gobernabilidad de las nanotecnologías en México y su comparación con la tendencia en países o regiones más avanzados ofrece información elocuente al respecto. Aún otra ausencia es la escasa participación de los sectores sociales en las discusiones sobre ciencia y tecnología, algo casi natural cuando se mira desde la perspectiva histórica de décadas de bloqueo a la educación, difusión e integración de trabajadores y consumidores a las agendas públicas. Los planteamientos realizados por el proyecto en la discusión sobre el Principio de Precaución pueden dar pistas para una comprensión teórica interdisciplinaria sobre el tema de los riesgos de los nuevos productos y tecnologías, y sobre las posibilidades de la divulgación científica. Valga aquí mencionar que los lineamientos para la regulación de los nanomateriales elaborados a partir de la consulta y participación de más de 100 ONG en 2007 son todavía de gran actualidad y muestran la riqueza del conocimiento de organizaciones sociales en la regulación de materiales y tecnologías (NanoAction, 2007).

En el ámbito temático, el proyecto se ha apoyado en el análisis cuantitativo para sostener que México ha seguido el camino de las tendencias mundiales, destacando la ciencia de materiales, materiales inteligentes, optoelectrónica y medicina entre los primeros rubros de las nanotecnologías. Este acoplamiento a las tendencias mundiales no se ha visto replicado en aquellos casos en que las ganancias mercantiles son susceptibles de verse afectadas, como esta antología enseña en los temas de regulación y los métodos de evaluación de riesgo. En estos casos la replicabilidad de los avances de países y regiones con mayor experiencia en tales temas podría ser mejor aprovechado. Es significativo que mientras la academia se ha volcado durante la última década a privilegiar las relaciones de cooperación con la Unión Europea —en

detrimento del histórico privilegio de los Estados Unidos—, no se ha aprovechado tal circunstancia para proponer un acercamiento temático y de investigación al respecto de riesgos y regulación, excepto en puntuales participaciones individuales de proyectos financiados.⁹² La cooperación con otros países de América Latina, que podría ser estratégicamente importante, no ha pasado de declaraciones de buenas intenciones sobre finales de la primera década del siglo. En México, Saldívar Tanaka (2022) ha elaborado una sistematización de medidas de regulación de nanotecnologías avanzadas en otros países y que podrían ser replicadas ajustándolas a las necesidades nacionales.

⁹² Véase, por ejemplo, Gottardo *et al.*, (2017). El proyecto NANOREG Tenía como propósito: «The overall goal of the NANOREG project is to support regulatory authorities, and also industry, in dealing with environmental health and safety (EHS) issues of manufactured nano-materials (NMs).»

Referencias

- Allied Market Research. (2022). *Nanomedicine Market Size and Share | Growth Prediction- 2030*. Allied Market Research. <https://www.alliedmarketresearch.com/nanomedicine-market>
- ANUIES, (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior de México. (2021). *Anuarios estadísticos de educación superior*. <http://www.anui.es/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- Anzaldo Montoya, M. (2022). *Estándares o normas voluntarias ISO para nanotecnologías*.
- Anzaldo Montoya, M. & Hernández-Adame, L. (2022). Problematicación de la investigación en nanotecnología agrícola y alimentaria en el marco de la nueva política de ciencia, tecnología e innovación en México. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-24e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69683>
- Appelbaum, R., Záyago Lau, E., Foladori, G., Parker, R., Villa, L., Robles-Belmont, E., & Arteaga Figueroa, E. (2016). Inventory of nanotechnology companies in Mexico. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(43), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3344-y>
- Arteaga Figueroa, E., García, A. & Foladori, Guillermo. (2022). Methodological approach to the review of nanotechnology production chains in Mexico. In K. Irday Delmir & P. Zülfigarova (eds.), *Cukurova 8th International Scientific Researches Conference. Full Texts Book* (Vol. 2, pp. 1245-1252). IKSAD. https://en.iksadkongre.net/_files/ugd/614b1f_80b32331a47a4f3cb74324331a9d8a53.pdf
- Arteaga Figueroa, E.R. (2022a). *Empresas nano en Argentina* [Map]. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt No. 304320. <https://relans.org/empresas-nano-en-argentina/>
- Arteaga Figueroa, E.R. (2022b). *Empresas nano en Colombia* [Map]. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt No. 304320. <https://relans.org/empresas-nano-colombia/>
- Arteaga-Figueroa, E.R. (2022). *Nanotecnologías en medicamentos y productos de cuidado personal en México*. Boletines. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Nanotecnologi%CC%81a-en-medicamentos-y-productos-para-la-salud-en-Me%CC%81xico.pdf>
- Basf. (2008). *Code of Conduct Nanotechnology*. <http://www.basf.com/group/corporate/en/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/code-of-conduct>
- BAYER. (2007). *BAYER position on Nanotechnology*. <http://www.sustainability2007.bayer.com/en/Bayer-Position-on-Nanotechnology.pdf>
- Berger, M., Carrozza, T. & Bailo, G. (2021). *Nanotecnología y sociedad en Argentina. Para una agenda inter y transdisciplinaria* (1a ed., Vol. 1). Centro Latinoamericano de Formación Interdisciplinaria.
- Bermúdez, J., Cuéllar, F., Duarte, Á., Herrera, Ó., Osmá, J. & Záyago Lau, E. (2018). Inventario de empresas nanotecnológicas en Colombia. In G. Foladori, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia), Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad, & RedNano Colombia (eds.), *Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina: Argentina, Brasil, Colombia y México* (Primera edición, pp. 125-135). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería:

- reLANS, Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad : RedNano Colombia, Red Colombiana de Nanociencia y Nanotecnología.
- Bracamonte-Arámburo, E. (2021). *iMascarillas para la Covid con Nanotecnología!* Boletines. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Nanomascarillas.pdf>
- Bracamonte-Arámburo, E. & Foladori, Guillermo. (2022). Mascarillas con nanotecnología en la COVID-19. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 86.
- CIMAV. (2008). *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México*. CIMAV (Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados). http://www.2006-2012.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Estudios/Diagnostico_y_Prospectiva_Nanotecnologia_Mexico.pdf
- Comisión de las Comunidades Europeas. (2000). *Sobre el recurso al Principio de Precaución*. European Commission. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/21676661-a79f-4153-b984-aeb28f07c80a/language-en>
- DOF-Diario Oficial de la Federación, DOF: 31/12/2020 (2020). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020
- Drilhon, G. (1991). Choosing priorities in science and technology (Problems in allocating funds for research and development projects). *OECD Observer*, 179(4). http://scholar.google.ca/scholar?cluster=2157320831899862238&hl=es&as_sdt=0
- ETC group. (2002). *No Small Matter! ¡No es poca cosa!* <http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/191/01/nanocommunique76.pdf>
- ETC group. (2003). *The Big Down*. ETC (Erosion Technology and Concentration). <http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/thebigdown.pdf>
- European Commision. (2020). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*. Lex Europa. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>
- European Commision. (2022, March). *Stakeholder workshop on the concept of 'Essential uses'* European Commision. https://environment.ec.europa.eu/events/stakeholder-workshop-concept-essential-uses-2022-03-03_en
- Foladori, G. (2009). La Gobernanza de las Nanotecnologías. *Sociológica*, 24(71), 28.
- Foladori, G. (2015). SAICM en América Latina y las nanotecnologías. In G. Foladori, N. Invernizzi, E. Zayago Lau, & A. Hasmy (eds.), *Trabajo, riesgos y la regulación de las nanotecnologías en América Latina*. Miguel Ángel Porrúa.
- Foladori, G. (2017). Implicaciones para trabajadores y consumidores de las Normas ISO en nanotecnología. Una visión desde América Latina. *Sociología Del Trabajo*, 88.
- Foladori, G. & Invernizzi, N. (2012). *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe*. reLANS IPEN. http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_nano_latin_amer-es.pdf
- Foladori, G. & Ortiz-Espinoza, Á. (2021). De las nanotecnologías a la Industria 4.0: Una evolución de términos. *Nómadas*, 55, 63-73. <https://dx.doi.org/10.30578/nomadas.n55a4>
- Foladori, G. & Záyago Lau, E. (2014). La regulación de las nanotecnologías en México. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 14. http://www3.diputados.gob.mx/001_diputados/006_centros_de_estudio/04_centro_de_estudios_sociales_y_de_opinion_publica/003_accesos_directos/002_publicaciones/003_revista_legislativa
- Foladori, G., Záyago Lau, E., Carrozza, T., Appelbaum, R., Villa, L. & Robles Belmont, E. (2018). Empresas de nanotecnología en Argentina y su lugar en la cadena de producción. In G. Foladori, Universidad de los Andes (Bogotá,

- Colombia), Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad, & RedNano Colombia (eds.), *Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina: Argentina, Brasil, Colombia y México* (Primera edición). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería: ReLANS, Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad: RedNano Colombia, Red Colombiana de Nanociencia y Nanotecnología.
- García Guerrero, M. (2021). Divulgación para la construcción social de las nanotecnologías. In J. Díaz & M. Casado (eds.), *Libro blanco de las nanotecnologías. Una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología* (Aranzadi).
- Gottardo, S. et al. (2017). *NANoREG framework for the safety assessment of nanomaterials* (H. Crutzen, P. JantunenJantunen & S. Gottardo, eds.). Joint Research Center. European Commission's science and knowledge service. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC105651/kjna28550enn.pdf>
- Gottardo, S., Mech, A., Drbohlavová, J., Malyska, A., Bøwadt, S., Riego Sintes, J. & Rauscher, H. (2021). Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology: State-of-play for smart nanomaterials. *NanoImpact*, 21, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100297>
- Grillo, R., de Jesus, M.B. & Fraceto, L.F. (2018). Editorial: Environmental Impact of Nanotechnology: Analyzing the Present for Building the Future. *Frontiers in Environmental Science*, 6. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenvs.2018.00054>
- Invernizzi, N. (2012). Unions Perspectives on the Risks and Implications of Nanotechnology. In H. van Lente, C. Coenen, T. Fleischer, L. Krabbenborg, C. Milburn, F. Authier, & T. B. Zülsdorf (eds.), *Expansions of Nanoscience and Emerging Technologies* (pp. 195–215). IOS Press/AKA.
- López Gutiérrez, M.Á. (2018). La reforma universitaria desde el Estado y el radicalismo estudiantil nicolaita, 1926–1935. *REVISTA HISTORIA DE LA EDUCACIÓN LATINOAMERICANA*, 20(30), 143–166. <https://doi.org/10.19053/01227238.8024>
- Lozano Guzmán (ed.). (2008). *Las nanotecnologías en México. Situación actual*. Concyteq.
- Marques, F. (2022). A sobra da interferência política. *Pesquisa EAPESP*, 8–9.
- McQuillan, D. (2018). People's Councils for Ethical Machine Learning. *Social Media + Society*, 4(2), 205630511876830. <https://doi.org/10.1177/2056305118768303>
- Miller, G. (2006). *Nanomaterials, sunscreens and cosmetics: Small ingredients big risks* | *Emerging Technology*. <http://emergingtech.foe.org.au/resources/nanomaterials-sunscreens-and-cosmetics-small-ingredients-big-risks/>
- Mittelman, J.H. (2022). The Power of Algorithmic Capitalism. *International Critical Thought*. <https://doi.org/10.1080/21598282.2022.2070858>
- NanoAction. (2007). *Principios para la supervisión de las nanotecnologías y nanomateriales*. NanoAction. A Project of the International Center for technology Assessment. https://www.centerforfoodsafety.org/files/081403_icta_span_low_86441_82005.pdf
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., & Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113, 823–839.
- ONU. (1992). *División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>
- Ortiz Espinoza, Á., Foladori, G. & Bracamonte-Arámburo. (2022). Elementos críticos sobre las nanotecnologías en México. *Revista Digital Espacio I+D. Innovación Más Desarrollo*, 11(31).

- Ortiz-Espinoza, Á., Foladori, G. & Záyago Lau, E. (2021). Financiamiento público para nanotecnologías: El caso de Fomix y Fordecyt (en dictaminación).
- Pasquale, F. (2015). *The black box society: The secret algorithms that control money and information*. Harvard University Press.
- Pasquinelli, M. (2019). How a machine learns and fails. A grammar of error for artificial intelligence. *Spheres. Journal for Digital, 5 Spectres of AI*, 1–17.
- ProMéxico. (2018). *El mundo de la nanotecnología. Situación y prospectiva para México*.
- Robles Belmont, E. (2021a). *Actualización, análisis y visualización de la producción científica en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México hasta el año 2020*. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320. www.relans.org
- Robles Belmont, E. (2021b). *Desarrollo de la nanomedicina en México. Análisis de la producción científica*. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320. www.relans.org/IIMAS-UNAM. www.relans.org
- Robles Berumen, R. (2022). Aplicaciones de la nanoadsorción y la nanofiltración en el tratamiento del drenaje ácido de mina. *En Elaboración*.
- RS&RAE. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. Royal Society: Royal Academy of Engineering.
- Saldívar Tanaka, L. (2022). Recomendaciones de política pública de nanociencia y nanotecnología en México: Privilegiar el bienestar humano y ambiental. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e–23e. <https://doi.org/10.22201/ceich.24485691e.2022.28.69655>
- Schulte, P., Geraci, C., Zumwalde, R., Hoover, M. & Kuempel, E. (2008). Occupational risk management of engineered nanoparticles. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(4), 239–249. <https://doi.org/10.1080/15459620801907840>
- Schultz, L.I. & Joutz, F.L. (2010). Methods for identifying emerging General Purpose Technologies: A case study of nanotechnologies. *Scientometrics*, 85(1), 155–170. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0244-2>
- Soto-Vázquez, R.S., Záyago Lau, E. & López, L.A.M. (2022). Nanomedicina para enfrentar la pandemia de COVID-19: Un análisis bibliométrico de las publicaciones de Web of Science con la herramienta Bibliometrix de R. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 33(0), Article 0. <http://www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1880>
- StatNano. (2018). *Nanotechnology Products Database (NPD)*. <http://product.statnano.com/>
- Medida Precautoria-Maíz Transgénico, No. 316/2021, Suprema Corte de Justicia de la Nación, La primera sala avala medida precautoria decretada en acción colectiva que suspende la emisión de permisos comerciales de liberación al ambiente de maíz transgénico (organismos genéticamente modificados), y restringe la emisión de permisos experimentales y piloto (2021). <https://www.internet2.scjn.gob.mx/red2/comunicados/noticia.asp?id=6624>
- Takeuchi, N. & Mora Ramos, M.E. (2011). Divulgación y formación en nanotecnología en México. *Mundo Nano*, 4(2), 59–64.
- Tan, K.X., Barhoum, A., Pan, S. & Danquah, M.K. (2018). Risks and toxicity of nanoparticles and nanostructured materials. In A.S.H. Makhoulf & A. Barhoum (eds.), *Emerging applications of nanoparticles and architectural nanostructures: Current prospects and future trends* (pp. 121–139). Elsevier.
- Thornton, J. (2000). Beyond Risk: An ecological paradigm to prevent global chemical pollution. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 6(4), 318–330.

- Tsuzuki, T. (2009). Commercial scale production of inorganic nanoparticles. *International Journal of Nanotechnology*, 6(5), 567–578. <https://doi.org/10.1504/IJNT.2009.024647>
- Villa, L. & Arteaga Figueroa, E. (2022). *Programas educativos de nanotecnología en México* [Map]. ReLANS. <https://relans.org/mapa-de-sitios-web-instituciones/>
- Záyago Lau, E. (2011). A Nanotech Cluster in Nuevo Leon, Mexico. Reflections on its Social Significance. *Nanotechnology Law and Business Journal*, 8(1), 49–59.
- Záyago Lau, E., León-Silva, S., & Soto-Vázquez, R. (2021). Nanotechnology and Covid 19: Technical Solutions in the Hunt for Inequality. In *Impacts of covid-19 on societies and economies*. IJOPEC Publication.
- Zuboff, S. (2018). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power* (First edition). Public Affairs.

Anexo. Reflexiones sobre el resumen ejecutivo del anteproyecto de la Ley General en Materia de HCTI de Conacyt

Guillermo Foladori, junio 2022

El siguiente texto es una lectura crítica del resumen ejecutivo del anteproyecto de ley del Conacyt de 2020 señalado en el título.⁹³ Estas reflexiones, sobre algunos de los aspectos del documento, se justifican por el carácter novedoso del texto en el contexto latinoamericano —y, posiblemente, más allá— y porque podría tener importantes impactos en México. Los comentarios se reducen a algunos elementos, ya que la importancia del documento podría llevar a un comentario varias veces más extenso que el mismo resumen ejecutivo.

La primera sección llama la atención sobre las restricciones que una política de ciencia y tecnología (C&T) tiene en el contexto de una división administrativa y política pública. La segunda sección constituye el comentario del anteproyecto en sí mismo y se hará referencia a los primeros dos ítems de la estructura, que son el derecho humano a la ciencia y la política de Estado.

La ciencia y tecnología como una rama de la división administrativa y política del trabajo nacional

El acelerado y diversificado desarrollo de las tecnologías ha sido exponencial desde comienzos del siglo XX. El gráfico que sigue ilustra tal *boom*, que coincide con el momento de madurez del capitalismo un siglo después de la revolución industrial del vapor en Inglaterra.

Como la C&T no siempre ofrece resultados benéficos para la sociedad humana —el caso del calentamiento global es un ejemplo elocuente— y generalmente perjudica determinadas clases o sectores sociales al tiempo que beneficia a otras, algunas orientaciones de políticas de ciencia y tecnología se esfuerzan por enarbolar banderas democráticas y de responsabilidad social; este último es el espíritu que engloba el texto que se comenta.⁹⁴

⁹³ Conacyt. (2020). *Resumen ejecutivo del anteproyecto de Ley General en Materia de HCTI*. Conacyt. https://consulta.conacyt.mx/wp-content/uploads/2021/04/5-Resumen_Ejecutivo_del_Anteproyecto.pdf; https://consulta.conacyt.mx/?page_id=1255#:~:text=El%20Anteproyecto%20contempla%20la%20concurrentia,de%20manera%20irreductible%20y%20progresiva

⁹⁴ La tecnología o algunas tecnologías han desatado controversias en cuanto a su potencial efecto perjudicial para la sociedad, para determinadas clases o sectores o para otros seres vivos desde las primeras civilizaciones. La tecnología puede implicar riesgos a la salud de los trabajadores (inhalación de tóxicos, accidentes), o a la clase como un todo (desempleo), a través de sus productos riesgos al ambiente (químicos tóxicos, contaminación ambiental) y otros seres vivos (alteración de ecosistemas), también a los consumidores (alimentos chatarra, fármacos con efectos adversos), a los individuos mediante los cambios en la percepción de la realidad y pérdida de sentidos (vista, olfato, desarrollo muscular). Claro que aquí queda por fuera, como si fuese un elemento externo, la tecnología de guerra, que por lo regular los planes de ciencia y tecnología no incluyen, pero que en la práctica puede implicar todas las demás, como lo han demostrado buen número de invenciones en el área militar que luego pasan al área civil.

Una política sectorial, como es la de C&T, presenta la dificultad de organizar regulaciones sin poder intervenir en todos los elementos que en la práctica la componen. Así, por ejemplo, uno de los sectores reconocidamente importante es el de académicos e investigadores. Éste puede orientarse con políticas explícitas para que el sector desarrolle sus actividades según los principales objetivos estratégicos de desarrollo de un país. Pero la política de C&T no puede intervenir directamente en los ingresos globales de estos grupos, ni en las condiciones laborales en general, lo que genera enormes dificultades para hacer cumplir aquellos objetivos. Tomemos el caso de México, donde académicos e investigadores pueden recibir uno, dos, o tres ingresos del gobierno federal y eventuales emolumentos adicionales; aunque sólo el primero de ellos corresponda al salario con sus plenos derechos, y sin considerar las diferentes formas de contratación que agudizan las desigualdades e incertidumbres en el futuro.⁹⁵ Otro ejemplo elocuente que atañe a este sector es la presión internacional por orientar las investigaciones y desarrollo profesional de los investigadores hacia los objetivos establecidos por las corporaciones y países más desarrollados, a través de su control de financiamientos, de las revistas científicas, de los congresos internacionales, de la evaluación y *ranking* internacional de instituciones educativas y de investigación, etcétera.

También podemos tomar el caso de los empresarios, otro sector reconocidamente importante para fines del desarrollo científico y tecnológico. Se reclama que el sector empresarial en América Latina no invierte en investigación y desarrollo como lo hacen sus similares estadounidenses o europeos. Pero, el empresario está sujeto a la competencia capitalista y, lógicamente, sólo invierte cuando hay perspectivas de incremento de ganancia, algo que las políticas de ciencia y tecnología no pueden garantizar. Las empresas también se enfrentan a la desigualdad tecnológica a nivel internacional, y en los países menos desarrollados a la subordinación a tecnologías y su entorno de repuestos, técnicos de mantenimiento e insumos requeridos del exterior con sus costos, barreras comerciales, tiempos y distancias, etcétera.

Tomemos ahora el caso del ministerio encargado de estas políticas, el cual podrá disponer del uso del recurso que el gobierno central le otorga (secretaría de hacienda o economía, en su caso) pero, muy posiblemente, las aspiraciones no se cumplan por motivos financieros ajenos a la secretaría o el ministerio de ciencia y tecnología en cuestión. Todo el entramado de desarrollo de un país capitalista depende del entorno de la competencia económica mundial, de los tratados comerciales, de las presiones políticas —incluidas las militares.

Tomemos el caso del sector estudiantil. El papel de este sector es esencial en términos de la dinámica de cualquier tipo de cambio radical en las políticas de ciencia y tecnología, como la historia lo ha demostrado en América Latina, dado que no hay cambio que no desate conflictos sociales que requieran respaldo movilizad y sólo los estudiantes podrán responder por proyectos en beneficio de los sectores más necesitados de la sociedad. Pero, sin un contexto de movilización estudiantil, no hay tal apoyo. Por último, organizaciones sociales y sindicales han estado lejos de tener un papel importante en la ciencia y tecnología en los últimos cincuenta años, en gran medida por la presión de las políticas neoliberales contra cualquier expresión social y política organizada de las clases trabajadoras y los consumidores.

⁹⁵ Salario universitario, estímulos de la Secretaría de Educación Pública por productividad, estímulo del Conacyt por productividad.

En resumen, la división administrativa y política del trabajo de un Estado nacional crea inevitablemente barreras para que cada uno de sus sectores exprese libremente sus aspiraciones y esto sin considerar las luchas y *lobby* político asociado. Y el contexto económico y político internacional coloca innumerables barreras, muchas veces infranqueables, para que una política sectorial y nunca prioritaria, como es la de ciencia y tecnología, desarrolle todas sus aspiraciones.

Bajo las condiciones anteriores, el siguiente apartado hace abstracción del contexto administrativo y político anterior, así como de las relaciones económicas y políticas internacionales, para restringirse al análisis *en sí mismo* de las políticas de C&T propuestas por el Conacyt en su anteproyecto de ley.

Comentarios al anteproyecto de ley comenzando por el título

Lo primero que salta a la vista es el mismo título del proyecto de ley. La mayoría de los países han tenido, al menos desde principios de este siglo, leyes de ciencia y tecnología. Cuando se trata de países en los cuales estas leyes son más antiguas, digamos de los años setenta u ochenta, han cambiado su nombre en el correr de los años noventa y las primeras décadas del siglo XXI para incluir el término innovación, de manera que hoy día es más común encontrar leyes de ciencia, tecnología e innovación (CT&I). La innovación ha sido un caballito de batalla de las políticas neoliberales lanzadas a nivel mundial desde los años ochenta, bajo el supuesto de que son la palanca del desarrollo. Sin embargo, este proyecto que comentamos agrega una «H», que hace referencia al término humanidades. De manera que estamos frente a un proyecto de ley que incluye de manera novedosa, además de la ciencia, la tecnología y la innovación, a las humanidades.

El desarrollo capitalista ha separado a las ciencias físico-naturales, que por su propósito se relacionan directamente con el desarrollo de las fuerzas productivas, de las ciencias sociales y humanísticas, que aparentemente están distanciadas de la producción material.⁹⁶ Incluir equitativamente, y bajo la misma ley, a las ciencias sociales y humanas no es sólo una propuesta de democracia, es una manera de reconocer el importante papel creciente que están desempeñando las ciencias sociales y humanísticas en las luchas sociales y el quehacer político a nivel internacional. Basten algunos ejemplos recientes y elocuentes, como es el peso político que ha adquirido la política de bloqueo de la comunicación científica a raíz de la guerra en Ucrania que ha generado una ideología caricaturesca de blanco-negro sin matices. Otro ejemplo es el papel que han tenido las *fake news* en privilegiar y combatir determinadas terapias en función de otras durante la pandemia de la covid-19, también desarrollando una ideología mundial acrítica y reduccionista de un gravísimo problema mundial que rebasa con creces la enfermedad. Ambos ejemplos muestran el papel político clave que han tenido las ciencias de la comunicación en el camino que toma la ciencia y tecnología.⁹⁷ Otro ejemplo es la penetración de los principios costo-beneficio atados a

⁹⁶ Aunque las leyes de C&T incluyen, por lo general, a las ciencias sociales y humanidades, el acento en el papel de las humanidades en el desarrollo no es el mismo que se le da a las ciencias físico-naturales. El colocar las humanidades en el propio título refleja una propuesta de equidad entre las ciencias y disciplinas.

⁹⁷ Numerosos convenios de colaboración cultural entre Rusia y países europeos, los Estados Unidos, Japón y Australia fueron cancelados durante la guerra de Ucrania (Marques, 2022). Otro ejemplo, en el quehacer musical, es el caso del rapero cubano en 2021 y

las políticas neoliberales y a la teoría económica neoclásica en los criterios de monitoreo y evaluación de la investigación y desarrollo de todas las ciencias, una vez que se han introducido en las variables de la inteligencia artificial y reproducido en algoritmos indecifrables aplicados en diferentes sectores, desde la medicina de precisión, la agricultura de precisión, los drones de armas letales, las monedas virtuales, los sistemas educativos, etcétera. Las ciencias sociales y humanísticas son claramente decisivas en su tarea de mantener el sistema económico-social y político vigente, así como en la posibilidad de orientar hacia un camino alternativo. Hay, por tanto, razones objetivas y prácticas para que el nuevo proyecto de ley incluya a las ciencias sociales y humanidades.

El derecho humano a la ciencia y la política de Estado

Puede decirse que el anteproyecto está enmarcado en principios democráticos. El término democracia es muy resbaladizo, pero los elementos a los que se alude no lo son. Como punto de partida se reconoce el acceso a la ciencia como un derecho humano, algo que viene desde la Declaración Universal de Derechos Humanos de Naciones Unidas de 1948, aunque no existía en la Ley de Ciencia y Tecnología anterior y aún vigente en México al escribir este comentario. También el documento apoya una serie de derechos pre-existentes como la libertad de investigación, de cátedra, de expresión, y la autonomía de las universidades e instituciones de educación superior que tienen tal carácter por ley y, por supuesto, se defiende la equidad de género, étnica y otras demandas contemporáneas ya generalizadas mundialmente.

Luego, en el capítulo sobre política de Estado, el anteproyecto entra en temas más complejos. Por ejemplo, apunta la necesidad de una agenda de investigación que contemple tanto aquella de frontera como la ciencia básica. Ciencia básica puede tomarse como un término necesario, en la medida en que es todavía de uso cotidiano y para distanciar aquel desarrollo científico que no necesariamente tiene aplicaciones tecnológicas visibles de lo que se conoce como ciencia aplicada —término no utilizado—, que podría estar más encaminada hacia determinados fines y, por tanto, más susceptible a conflictos de interés. Esta distinción, aunque plausible para la comunicación pública, ha sido crecientemente derribada en las últimas décadas. Tanto la presión del capital por la aplicación de la ciencia a resultados que rindan beneficios económicos inmediatos, como la propia política capitalista que apunta a la innovación como palanca del desarrollo, han hecho que la distancia entre desarrollo científico y su aplicación en productos mercantiles haya prácticamente desaparecido. Mientras a principios del siglo XX la distancia entre invención y mercado podía llevar varias décadas, demora pocos meses en el contexto del desarrollo capitalista actual. Esto es notorio en el sector de micro y nanoelectrónica, donde los controles reglamentarios son

las diferentes opiniones sobre la explicación de su prohibición (<https://ethic.es/2021/05/la-oposicion-hiphop-musica-frente-al-regimen-cubano/>; <https://www.telesurtv.net/news/EE.UU.-pago-a-raperos-para-cambio-de-regimen-en-Cuba-20141211-0046.html>); y, en general, el crecimiento de las *fake news* en todos los campos científicos y de información (<https://www.theguardian.com/technology/2022/jan/12/youtube-is-major-conduit-of-fake-news-factcheckers-say>), que ha creado términos como «teorías conspiracionistas». Todos ellos son ejemplos que muestran que las ciencias y disciplinas humanas y sociales tienen un lugar importantísimo en el desarrollo técnico y científico e, inclusive, pueden cuestionar el concepto mismo de ciencia, algo para lo cual la filosofía, una disciplina humanística, tiene la última palabra.

casí inexistentes, pero también en aquellas ciencias como la química-farmacéutica donde los controles de medicamentos son de los más exigentes, como se ha visto con las vacunas para la covid-19 con base en RNA que se han aplicado en humanos bajo medidas de excepción en pocos meses y evadiendo todos los protocolos convencionales. Esta particularidad del contexto histórico mundial hace muy relevante la necesidad de la incidencia del desarrollo científico en asuntos estratégicos o prioritarios para el interés público nacional (los *pronaces*), como reza el resumen ejecutivo del anteproyecto en su segunda página. Toda política de Estado tiene un proyecto de desarrollo, por tanto aquí Conacyt acude a un ámbito en gran medida externo, que es el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, para aterrizar la política sectorial.

Pero, lo que sí es novedoso es el concepto de investigación de frontera, un área que daría a entender que se trata de lo que a nivel mundial es destacado. Sin embargo, no es este el sentido de ciencia de frontera en los documentos de Conacyt. Por ciencia de frontera el documento alude al *empleo de metodologías y conceptos atípicos o novedosos* en el ámbito. Esto es de gran importancia porque abre las puertas a la discusión de teorías y metodologías no necesariamente hegemónicas; y claramente promueve el diálogo de diferentes enfoques sobre una misma problemática. La propuesta de Conacyt se aparta de encuadrarse en algún paradigma y da a entender que los paradigmas hegemónicos no necesariamente son los más rigurosos, o científicos, cualquiera que sea la interpretación que se le dé a este último término. Además, es muy común que las visiones científicas y metodológicas dominantes sean las que apoyan la reproducción del estado existente de organización de la sociedad, dificultando los cambios.

Otra serie de conceptos son importantes para aterrizar aquello sobre derechos humanos y democracia. Se trata, por ejemplo de términos como políticas transversales en materia de género, interculturales con asiento territorial, sin menospreciar la soberanía nacional, para lo cual se habla de independencia científica y tecnológica, así como vinculación de los sectores público, social y privado. Estos últimos conceptos y términos podrían resultar vagos si no fuese que en el capítulo seis sobre mecanismos e instrumentos de fomento y apoyo se especifican cuestiones que son cardinales. Nos detenemos en el acento al establecimiento de cadenas productivas internas. Esto constituye un cambio radical en el pensamiento económico que acompaña el anteproyecto. Es imposible que un país, excepto los más avanzados, pueda implementar una política nacional de ciencia y tecnología si no la acompaña de un plan de desarrollo económico que se aleje de depender de insumos y tecnologías importadas para los principales sectores económicos, como ocurre actualmente en México. Como en casos señalados anteriormente, aquí Conacyt vuelve a depender de que el Programa Nacional de Desarrollo aporte su correspondencia en lo que atañe al desarrollo industrial, agropecuario y de transportes y comunicaciones. Pero también es importantísima la posibilidad de aplicar los avances tecnológicos en las empresas o instituciones estatales o paraestatales que podrían tener control vertical de los procesos administrativos y productivos; esto también es mencionado aunque no profundizado en el resumen ejecutivo. También es importante el apoyo que el Conacyt considera que puede obtener en materia nacional de propiedad intelectual, particularmente en lo que se refiere a transferencia de tecnología.

De los agentes del cambio

El gran problema de todo proyecto político y administrativo es su puesta en práctica. Los sectores que tradicionalmente han impulsado el desarrollo de las ciencias y tecnologías han sido, además de las instituciones públicas, los organismos internacionales, las empresas privadas y las asociaciones u organizaciones científicas. Como es reconocido en el documento de anteproyecto la experiencia de las últimas décadas ha alejado los avances de ciencia, tecnología e innovación de un camino nacional, para asumir una dependencia de países y corporaciones transnacionales; a diferencia el documento es explícito en la necesidad de un enfoque orientado a los sectores más necesitados y de integrar a lo que llama sector social, además del privado.

Aunque una ley no puede adentrarse en las fuerzas sociales que la pueden sostener, no es banal preguntarse cuáles serán dichas fuerzas. Por un lado y, como hemos mencionado, este proyecto depende en numerosos aspectos del complemento de otros ministerios y departamentos gubernamentales federales y estatales. Aquí comienza una de las dificultades, y no porque política y administrativamente no se puedan integrar coherentemente, sino porque las fuerzas del capital, particularmente los sectores empresariales, no verán con buenos ojos la orientación general del proyecto en su conjunto y menos cambiar una ley que en parte los beneficiaba, y cuando no lo hacía era totalmente irrelevante a sus intereses. La importancia que los sectores capitalistas puedan dar a un proyecto de ciencia y tecnología es totalmente marginal frente a la preocupación por los planes industriales, agropecuarios, de comunicaciones y otros; y en éstos el enfrentamiento será mucho más contundente.

Por otro lado, tampoco se visualiza una fuerza organizada estudiantil, que es el núcleo más importante para cualquier movilización por cambios radicales.⁹⁸ El sector de académicos e investigadores, que es junto al estudiantil el directamente afectado, está en México lejos de cualquier tipo de respuesta organizada, por la simple razón de las cuatro décadas de políticas de los gobiernos para individualizar al sector con diversidad de pagos por producto y rompiendo la unidad sindical. Lo curioso es que no sólo Conacyt, que es una de las instituciones que impulsa una reforma radical, tiene un programa de estímulos por productividad, sino que otro diferente lo tiene la Secretaría de Educación, que también impulsa una reforma. Entre ambos, México debe desperdiciar cientos de miles de horas de trabajo de su personal académico y de investigación corriendo detrás de «puntitos» y manteniendo una burocracia improductiva.

Por último, el sector social, que estaría representado también por organizaciones no gubernamentales y civiles, así como sindicatos, habrá que ver cómo se integra a los llamados a consulta pública; pero de antemano pueden visualizarse conflictos. Así, por ejemplo, uno de los pronaces (programas nacionales estratégicos) se refiere a la investigación de agentes tóxicos; pero esto se enfrenta al principio de confidencialidad a que alude el sector empresarial para que los trabajadores no conozcan los materiales que manipulan, con los consecuentes riesgos tóxicos, y esto a pesar de que el conocimiento informado y

⁹⁸ Véase un ejemplo de reforma universitaria con apoyos compartidos con la presidencia de la república en México en López Gutiérrez (2018).

transparencia de información está en el artículo 154 de la Organización Internacional del Trabajo a la cual México está adherido.

Con relación al mismo pronaces, sobre agentes tóxicos, llama la atención que el documento no hace referencia al Principio de Precaución, que es el principal instrumento que las organizaciones sociales tienen para defender sus intereses en el ámbito jurídico, al colocar la experiencia histórica como base del reconocimiento de riesgos tóxicos de igual a igual con el análisis de laboratorio que ha acumulado abundantes críticas (Thornton, 2000).⁹⁹

⁹⁹ En México el Principio de Precaución está presente en la Ley de Bioseguridad y en el decreto sobre sustitución progresiva de glifosato (DOF-Diario Oficial de la Federación, 2020), y fue utilizado por la Suprema Corte para dirimir el conflicto del maíz transgénico en México con el amparo 1023/2019. Posiblemente la ausencia del Principio de Precaución en el resumen ejecutivo sea un simple lapsus, porque Conacyt contribuyó sustancialmente para el decreto de reducción progresiva del glifosato en el país y seguramente aparezca en el texto extenso de la ley.

Índices de documentos por formato

Boletines

Boletín I | 57

Anzaldo Montoya, M., & Foladori, G. (2022). Los estándares internacionales para las nanotecnologías como instrumento de gobernanza global. Boletines. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/Gobernanza-global-Normas-ISO-Monica-28-enero.pdf>

Boletín II | 60

Anzaldo Montoya, M. (2022). La ISO y las nanotecnologías en México. Una gobernanza subordinada. Boletines. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt, 2019 #304320. <https://relans.org/wp-content/uploads/ISO-Mex-02-feb22.pdf>

Boletín III | 69

Ortiz-Espinoza, Ángeles. ¿Qué es la 5G?
<https://relans.org/wp-content/uploads/AOE-5G-8-oct.pdf>
<https://relans.org/wp-content/uploads/What-is-5G-AOE-14nov.pdf>

Boletín IV | 75

Foladori, Guillermo. ¿Es tóxica la ingestión de nano plata?
<https://relans.org/wp-content/uploads/GF-20-Sept-AgNano-1.pdf>

Boletín V | 76

Ramírez, Mariana & Bracamonte-Arámburo, Ericka. Cosméticos con nanotecnología en la mira de su descontrol.
https://relans.org/wp-content/uploads/Boleti%CC%81n_Regulacio%CC%81n-de-los-nanomateriales-en-los-productos-cosme%CC%81ticos-Mariana-reducido-gf-EYBA-07-Dic-1-gf08Final-comentarios-EYBA-09-DIC-1.pdf

Boletín VI | 92

Arteaga Figueroa, Edgar. Nanotecnologías en medicamentos y productos de cuidado personal en México.
<https://relans.org/wp-content/uploads/Nanotecnologi%CC%81a-en-medicamentos-y-productos-para-la-salud-en-Me%CC%81xico.pdf>

Boletín VII | 94

Bracamonte-Arámburo, Ericka. Mascarillas para la Covid con nanotecnología!
<https://relans.org/wp-content/uploads/Nanomascarillas.pdf>
https://relans.org/wp-content/uploads/Traduccio%CC%81n-boletin_ericka-EYBA-14-nov.pdf

Boletín VIII | 107

Arteaga Figueroa, Edgar Ramón. Nanotecnología en alimentos en México.
<https://relans.org/wp-content/uploads/Nano-Food-Final-Oct-24.pdf>

Boletín IX | 109

Arteaga Figueroa, Edgar Ramón Nano dióxido de titanio en alimentos en México.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Nano-dio%CC%81xido-de-titanio-en-Me%CC%81xico.pdf>

Boletín X | 111

Arteaga-Figueroa, E (2021) Nanotecnología en agricultura en México. Boletín Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera 204320. www.relans.org

Artículos de divulgación

Artículos y material de divulgación I | 25

Záyago Lau, E., Arteaga Figueroa, E., & Foladori, G. (2021, noviembre 24). Nanotecnologías en América Latina y el Caribe: Una perspectiva crítica [Conversatorio]. IPEN webinars, Ciudad de México.

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLLxyGs1N7tU1xD3-vvFJH19bnqW0fXR3v>

Artículos y material de divulgación II | 66

Audio: Análisis de Riesgo y Ciencia.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Guillermo-Foladori-Analisis-de-riesgo-y-ciencia-211203-31.47.mp3>

Artículos y material de divulgación III | 71

Audio: Análisis de Riesgo y Ciencia.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Guillermo-Foladori-Analisis-de-riesgo-y-ciencia-211203-31.47.mp3>

Artículos y material de divulgación IV | 76

Foladori, Guillermo [Audio] Nanoplata en artículos de consumo.

<https://drive.google.com/file/d/11Ml5ZfU0PI1HwT4YdSS0QurinwIDWf8s/view>

Artículos y material de divulgación V | 96

Bracamonte-Arámburo, E., & Foladori, Guillermo. (2022). Mascarillas con nanotecnología en la COVID-19. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 86. (en prensa).

Bases de datos

Bases de datos I | 21

Anzaldo Montoya, M. (2022). Situación global de las nanotecnologías a finales de la segunda década del siglo XXI. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Produccion-Cientifica.pdf>

Bases de datos II | 30

Robles Belmont, E. (2021). Actualización, análisis y visualización de la producción científica en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México hasta el año 2020. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Produccion-Cientifica.pdf>

Bases de datos III | 37

Esparza-Vela, Claudia (2022) Patentes de nanomedicina en México. Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera No. 304320.

Bases de datos IV | 39

Villa Vázquez, Laura (2022). Programas educativos en nanotecnología en México. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Produccion-Cientifica.pdf>

Bases de datos V | 46

Ramírez Herrera, M. (2022). Nanoremediación de metales pesados en buscadores académicos de revistas científicas (2010-2021).

Bases de datos VI | 52

Arteaga Figueroa, E. (2022). Mapas de nanotecnologías en México, Argentina y Colombia. Metodología.

Bases de datos VII | 63

Anzaldo Montoya, M. (2022) Estándares o normas voluntarias ISO para nanotecnologías.

Bases de datos VIII | 80

Robles Belmont, E. (2021). Desarrollo de la nanomedicina en México. Análisis de la producción científica. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320. www.relans.org/IIMAS-UNAM. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320.

Bases de datos IX | 84

Mimiaga, J. M., Foladori, Guillermo, Ortiz Espinoza, Á., & Bracamonte-Arámburo, E. (2021). Artículos sobre nanomedicina en repositorios de Scielo y Redalyc. Base de datos y comentario. Proyecto Conacyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320.

Bases de datos X | 100

Anzaldo Montoya, M. (2022). Agenda de investigación pública y privada sobre nanotecnología en agricultura y alimentación en México. Proyecto Ciencia de Frontera Conacyt No. 304320. Conacyt.

Artículos de investigación y capítulos de libro

Artículos de investigación y capítulos de libro I | 24

García Guerrero, M. (2021). Divulgación para la construcción social de las nanotecnologías. In J. Díaz & M. Casado (eds.), *Libro blanco de las nanotecnologías. Una visión ético-social ante los avances de la nanociencia y la nanotecnología* (Aranzadi).

Artículos de investigación y capítulos de libro II | 51

Robles Berumen, R. & Foladori, G. (2022). Aplicaciones de la nanoadsorción y nanofiltración en el tratamiento del drenaje ácido de mina (en dictaminación).

Artículos de investigación y capítulos de libro III | 54

Arteaga Figueroa, E., García, A., & Foladori, Guillermo. (2022). Methodological approach to the review of nanotechnology production chains in Mexico. In K. Irday Delmir & P. Zülfigarova (eds.), *Cukurova 8th International Scientific Researches Conference. Full Texts Book* (Vol. 2, pp. 1245–1252). IKSAD.

https://en.iksadkongre.net/_files/ugd/614b1f_80b32331a47a4f3cb74324331a9d8a53.pdf

Artículos de investigación y capítulos de libro IV | 54

Arteaga Figueroa, E., Ortiz-Espinoza, Á., & Foladori, Guillermo. (2022). Empresas nanotecnológicas en México: Frente a la necesidad de un inventario nacional (en dictaminación).

Artículos de investigación y capítulos de libro V | 55

Ortiz Espinoza, Á., Foladori, Guillermo, & Záyago Lau, E. (2022). Financiamiento público para nanotecnologías: El caso de Fomix y Fordecyt.

Artículos de investigación y capítulos de libro VI | 56

Foladori, G. (2021). La regulación de las nanotecnologías. In 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* (1st ed., pp. 197–215). Aranzadi Thomson Reuters, Pamplona.

https://www.researchgate.net/publication/361710281_La_regulacion_de_las_nanotecnologias

Artículos de investigación y capítulos de libro VII | 56

Anzaldo Montoya, M. & Tanaka, L.S. (2022). *Presentación. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e–12e.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69712>

Artículos de investigación y capítulos de libro VIII | 57

Soto-Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L.A. (2021). Gobernanza de la nanomedicina: Una revisión sistemática. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e–25e.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682>

Artículos de investigación y capítulos de libro IX | 65

Foladori, Guillermo. (2022). Principio de Precaución y Análisis de Riesgo Regulatorio: Dos fuerzas sociales encontradas y ejemplificadas en el caso de las nanotecnologías. *Trilogía: Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(26).

<https://revistas.itm.edu.co/index.php/trilogia/article/view/2014>

Artículos de investigación y capítulos de libro X | 66

Foladori, Guillermo. (2021). Principio de Precaución, Experiencia Histórica e Interdisciplina. In A.M. Ramírez, B. Ramírez, & J. Zagoya (eds.), *Ideas y experiencias sobre medio ambiente y sustentabilidad en el México neoliberal* (1a., pp. 23–44). El Colegio de Tlaxcala. A.C.

https://www.researchgate.net/profile/Andres-Maria-Ramirez-2/publication/356376716_IDEAS_Y_EXPERIENCIAS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y SUSTENTABILIDAD EN EL MEXICO NEOLIBERAL/links/619a7b5761f0987720c045cc/IDEAS-Y-EXPERIENCIAS-SOBRE-MEDIO-AMBIENTE-Y-SUSTENTABILIDAD-EN-EL-MEXICO-NEOLIBERAL.pdf?origin=publication_detail

Artículos de investigación y capítulos de libro XI | 67

Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). De las nanotecnologías a la industria 4.0: Una evolución de términos. *Nómadas*, 55, 63–73.

<https://doi.org/10.30578/nomadas.n55a4>

Artículos de investigación y capítulos de libro XII | 68

Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). La relación capital-trabajo en la Industria 4.0. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 73, 161–177.

<https://doi.org/10.17141/iconos.73.2022.5198>

Artículos de investigación y capítulos de libro XIII | 84

Soto-Vázquez, R., Záyago Lau, E., & Maldonado López, L.A. (2021). Gobernanza de la nanomedicina: Una revisión sistemática. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1e–25e.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69682>

Artículos de investigación y capítulos de libro XIV | 91

Soto-Vázquez, R. S., Záyago Lau, E., & López, L.A.M. (2022). Nanomedicina para enfrentar la pandemia de COVID-19: Un análisis bibliométrico de las publicaciones de Web of Science con la herramienta Bibliometrix de R. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 33(0).

<http://www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1880>

Artículos de investigación y capítulos de libro XV | 91

Záyago Lau, E., León-Silva, S., & Soto Vázquez, R. (2021). Nanotechnology and covid: Technical solutions in the hunt for inequality. In Erdogan, Mustafa, E. Alaverdov, A. García, & K. Tryma (eds.), *Impacts of covid-19 on societies and economies* (pp. 233–252). IJOPEC Publication.

Artículos de investigación y capítulos de libro XVI | 97

Ortiz Espinoza, Á., Foladori, G., & Bracamonte-Arámburo, E. (2022). Elementos críticos sobre las nanotecnologías en México. *Revista Digital Espacio I+D. Innovación Más Desarrollo*, 11(31) (en prensa).

Artículos de investigación y capítulos de libro XVII | 97

Foladori, G., & Bracamonte-Arámburo. (2022). Nanomedicina personalizada (en dictaminación).

Artículos de investigación y capítulos de libro XVIII | 99

Anzaldo Montoya, M., & Hernández-Adame, L. (2022). Problematicación de la investigación en nanotecnología agrícola y alimentaria en el marco de la nueva política de ciencia, tecnología e innovación en México. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e–24e.

<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69683>

Artículos de investigación y capítulos de libro XIX | 99

Foladori, Guillermo. (2022). El doble carácter del trabajo en la cuestión ambiental: Ilustración en la agricultura de precisión. In A. Ramírez & Z. R. de J. López (eds.), *Debates sobre medio ambiente y sustentabilidad: Teoría, educación y nuevas sociedades*. El Colegio de Tlaxcala, A.C. (en prensa).

Pósters

Póster I | 13

Foladori, G. (2022). Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México

Póster II | 73

Proyecto Ciencia de Frontera. ReLANS/IPEN. Enfrentando lo pequeño.

<https://relans.org/wp-content/uploads/Las-Nanotecnologias-04.pdf>

Póster III | 98

Bracamonte-Arámburo, E., & Foladori, Guillermo. (2022). [Póster] Medicina personalizada.

*Una revisión crítica
del desarrollo de las nanotecnologías en México*

2022

Producción

Ediciones Estudios del Desarrollo



edicionesed@gmail.com

Campus UAZ II, avenida Preparatoria s/n

Fraccionamiento Progreso

98065 Zacatecas, Zacatecas.

Esta obra reúne la producción escrita del equipo de investigación del proyecto «Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México acorde a las prioridades socioeconómicas nacionales», el cual incluye las referencias de los materiales previamente publicados. Asimismo, varios boletines de divulgación presentados facilitan al lector incursionar en temas complejos mediante textos simples. La primera parte contiene información general sobre las nanotecnologías y los cambios ocurridos durante la segunda década de este siglo y se resalta la preponderancia del mercado sobre cualquier tipo de planificación y regulación.

La segunda parte incursiona en áreas como las nanomedicinas, las aplicaciones a la agricultura, la producción y empresas con nanotecnología, aspectos de gobernanza y regulación y otros.

Es aspecto sobresaliente de esta sección es la novedad de los nanomateriales inteligentes y el principio de precaución, como clave para una perspectiva crítica y aglutinadora de los diversos sectores sociales al desarrollo de nuevas tecnologías.

