

EL MUNDO DE LA

NANO TECNOLOGÍA

SITUACIÓN Y PROSPECTIVA

PARA **MÉXICO**



© ProMéxico, diciembre de 2018

Unidad de Inteligencia de Negocios

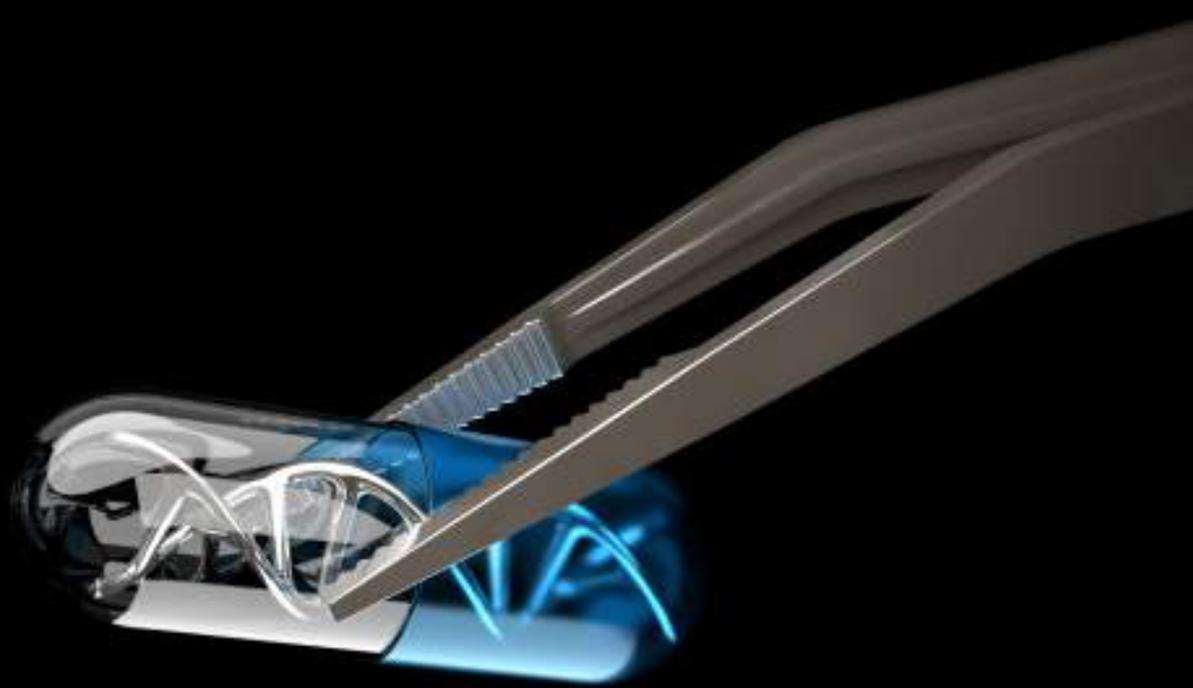
Marco Erick Espinosa Vincens, Jefe de la Unidad

Claudia Esteves Cano, Directora Ejecutiva de Estrategia

María Cynthia Cuadros Bustos, Directora de Proyectos Estratégicos (Co-autor)

Agustín Yukio Olivera Ocegüera, Jefe de Departamento de Estrategia (Co-autor)

5	INTRODUCCIÓN
6	METODOLOGÍA
8	LA NANOTECNOLOGÍA EN EL MUNDO
	<i>Conceptos fundamentales en la evolución nanotecnológica</i>
	<i>Usos y aplicaciones</i>
	<i>Valor de mercado</i>
	<i>La nanotecnología aplicada a la industria</i>
	<i>Países líderes</i>
	<i>Costos laborales</i>
	<i>Regulación</i>
	<i>Tendencias globales</i>
	<i>La nanotecnología como parte de la manufactura del futuro</i>
36	LA NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO
	<i>Antecedentes</i>
	<i>Inversión en investigación, desarrollo e innovación</i>
	<i>Ecosistema nacional</i>
	<i>Publicaciones científicas</i>
69	RETOS ESTRATÉGICOS
70	REFLEXIONES FINALES
72	BIBLIOGRAFÍA



La nanotecnología se
inserta en un proceso
para el desarrollo
industrial del futuro

INTRODUCCIÓN

Dentro de los avances científicos y tecnológicos, la nanotecnología tiene un rol importante en las tecnologías emergentes y en las industrias ya establecidas. Su valor estratégico radica en que se trata de una tecnología transversal capaz de habilitar otras tecnologías; es la ingeniería aplicada a sistemas funcionales de una escala molecular, razón por la cual se abordarán los tipos de nanotecnología que existen, así como los usos y aplicaciones en los diferentes sectores, el impacto en el mercado, y la posición que ocupa México en el mundo.

Expertos estiman que para el año 2021, su valor de mercado a nivel mundial crecerá 2.3 su valor actual y con ello superará los 90 mil MDD; existen alrededor de 60 países que ya comercializan productos y servicios nanotecnológicos y México es uno de ellos.

Las estrategias que están siguiendo los países líderes, así como las tendencias, iniciativas y los negocios que conforman el nuevo mercado de la nanotecnología; permitirán una proyección de la futura oferta-demanda e identificar el nivel de madurez de esta materia en el mundo.

Actualmente, México es el segundo país en América Latina por valor de mercado, pero se podría considerar el primero si se tomara como referencia la diversificación en la aplicación de la nano.

A nivel mundial, las tendencias indican que los nanomateriales ocupan el 80% del mercado de la nano y México cuenta con empresas en este rubro que permiten visualizar un enorme potencial de mercado.

La aplicación de la nanotecnología en los negocios incrementa el valor agregado de los productos y servicios respecto de la calidad, durabilidad y resistencia. En el tiempo también disminuye los costos de producción, situación que ha originado que esta tecnología crezca exponencialmente diversificando sus aplicaciones en casi todos los sectores, impulsando una nueva economía mundial.

La nanotecnología es altamente innovadora y con gran potencial para las empresas mexicanas que decidan asumir los retos que le acompañan a esta tecnología.

Con base en lo anterior, ProMéxico se dio a la tarea de conocer el grado de adopción de la nanotecnología en México a nivel industria en los diferentes sectores; así como los avances en regulación, patentes, investigación, desarrollo, innovación y escalonamiento con el fin de realizar un análisis e identificar potenciales oportunidades de negocio y conocer los retos que debe afrontar el país, para fortalecer su liderazgo en los sectores en los que hoy cuenta con prestigio y reconocimiento a nivel mundial.

Para alcanzar el objetivo, ProMéxico diseñó una metodología gracias a la cual se pudieron identificar a los principales actores de la comunidad científica, industrial y de gobierno, con quienes se tuvo la oportunidad de profundizar en el tema de la nanotecnología desde una perspectiva de investigación científica, investigación aplicada, desarrollo de productos y servicios con base nanotecnológica, así como las principales actividades de los centros de investigación orientadas a esta materia, además de conocer su opinión sobre las oportunidades de negocio existentes y potenciales que podrían impulsar a México en las arenas globales de la nanotecnología.

En el presente estudio, se mostrará también la importancia de la participación colaborativa entre el gobierno, la comunidad empresarial y la comunidad científica como factor de desarrollo y crecimiento económico y social del país, tomando como base las mejores prácticas de los países líderes, que en su plan, cuentan con una estrategia nacional; enfoque sectorial, con una comunidad científica alineada con una activa participación de la industria en inversión y desarrollo, cuyo objetivo consiste en ganar competitividad y lograr captar la mayor participación de mercado posible, situación que es deseable para México.

Con base en los objetivos del presente estudio, ProMéxico diseñó una metodología tomando elementos de otros métodos. A continuación, se presentan los criterios utilizados:

Diseño de herramientas. Con la finalidad de contar con un panorama general de la madurez de la nanotecnología en México, fueron utilizados algunos elementos del método Delphi¹ consistentes en el acercamiento con expertos en la materia que, con base en el análisis y la reflexión de un problema planteado, compartieron sus opiniones, experiencias y recomendaciones en la materia. Para tal efecto, ProMéxico diseñó un plan de trabajo con herramientas que incluyen: elaboración de cuestionarios enfocados de acuerdo al tipo de actor; reuniones de trabajo con expertos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-CONACYT, del Clúster de Nanotecnología en Nuevo León, de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM y del Instituto Politécnico Nacional IPN; además de una matriz de actores obtenida de diferentes fuentes públicas y privadas, misma que fue actualizada vía telefónica y a través de correo electrónico, con información sobre productos y sectores de enfoque. Todo lo anterior permitió recabar información relacionada con dicha industria y contar con una visión más completa desde las distintas perspectivas de las entidades gubernamentales, centros de investigación, clústeres, instituciones académicas y empresas, misma que es presentada a lo largo del presente estudio.

Identificación e información de actores. La identificación de los principales actores del ecosistema nacional parte fundamentalmente de dos fuentes: por un lado, de un profundo análisis de los diferentes documentos especializados en nanotecnología, elaborados por especialistas en la industria, la academia y el gobierno; y, por el otro, de la información obtenida a través de diferentes fuentes de información públicas y privadas. Con esta base, se construyó una matriz con los actores más destacados, tomando como referencia el número de veces que fueron citados y el valor

agregado a la nanotecnología desde su ámbito de competencia. Esta base incluye centros de investigación, universidades, empresas, redes y un clúster, entre otros, considerando su ubicación geográfica y en algunos casos las principales líneas de investigación.

Identificación de países líderes. Para identificar los países líderes en nanotecnología, se consultaron diversas fuentes a nivel internacional, y se integraron listados a partir de cuatro indicadores que son: 1) número de documentos científicos publicados a nivel mundial, 2) inversión en I+D+i de acuerdo con el % del PIB de cada país, 3) número de patentes registradas y 4) número de productos y servicios que comercializan. La selección de estos indicadores obedece a que en ellos es posible observar la dirección y enfoque estratégico adoptado por los países a nivel global.

Inversión en nanotecnología. Para calcular el porcentaje de inversión por país destinado a la nanotecnología, ProMéxico realizó una estimación con base en el cruce siguiente: a partir de la información de los países que invierten en nanotecnología en el mundo, publicada por StatNano², y considerando el estudio de la BBC Research³ que señala que los 60 principales países en el mundo gastan anualmente 10 MMD, se elaboró una tabla para cruzar la información por país, contra los datos de inversión 2015 en investigación, desarrollo e innovación publicados por el Banco Mundial⁴. El resultado es una proporción porcentual estimada por país, de la inversión en nanotecnología sobre I+D+i en general.

Oportunidades potenciales. Para la identificación de oportunidades comerciales para México, se realizaron análisis de los diferentes mercados, productos, servicios y tendencias a nivel mundial, para que, con el conocimiento de las capacidades nanotecnológicas identificadas, fuera posible encontrar oportunidades de negocio para México.

¹ El método Delphi se clasifica como uno de los métodos generales de prospectiva, que busca acercarse al consenso de un grupo de expertos con base en el análisis y la reflexión de un problema definido. Linstone y Turoff (citados por Landeta) lo definen como el "método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo". Lo que se persigue con esta técnica es obtener el grado de consenso o acuerdo de

los especialistas sobre el problema planteado, utilizando los resultados de investigaciones anteriores, en lugar de dejar la decisión a un solo profesional.

² StatNano: <http://statnano.com/countries>

³ The Maturing Nanotechnology Market: Products and Applications, <https://www.bccresearch.com/report/download/report/nan031g>

⁴ The World Bank. Research and development expenditure (% of GDP), <https://data.worldbank.org/topic/science-and-technology>

Fuentes de consulta. Para sustentar la información contenida en el presente estudio se utilizaron diversas fuentes oficiales públicas y privadas como se muestra en el siguiente cuadro:

Tema	Fuentes nacionales	Fuentes internacionales
Economía	Banco de México	Banco Mundial
Desarrollo social y políticas públicas	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) Banco Mundial
Regulación y estándares	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)	Comisión Europea Center for Responsible Nanotechnology (CRN) American National Standar Institute (ANSI) Food & Drugs Administration (FDA) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) International Organization for Standarization (ISO)
Patentes	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) Oficina de Patentes Europea (EPO) United Estates Patent and Trademark Office (USPTO)
Artículos científicos	Bibliometría UNAM	Web of Science vía StatNano
Empresas, productos y servicios	Nanoeconomía en México (CINVESTAV-ReLANS) Primer Inventario de Empresas (Folladori-Zayago) Clúster de nanotecnología de N.L.	StatNano Comisión Europea National Nanotechnology Initiative (NNI) Nanowerk.com
Programas educativos	Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) Universidad Nacional Autónoma de México	Nanowerk.com
Centros de investigación	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Revista Mundo Nano (UNAM) Hacia una economía de conocimiento: centros y ecosistema de investigación, desarrollo e innovación en México (ProMéxico)	Nanowerk.com Center for Responsible Nanotechnology (CRN)

ProMéxico.

Fuente:

Todo el análisis plasmado en el presente estudio fue realizado con la mayor objetividad posible, tomando datos cuantitativos y cualitativos históricos de las diferentes fuentes encontradas, buscando todos los elementos posibles para tener una visión prospectiva y un mejor entendimiento del potencial de mercado para las empresas mexicanas.

LA NANOTECNOLOGÍA EN EL MUNDO

CONCEPTOS FUNDAMENTALES EN LA EVOLUCIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

Es importante comenzar por comprender que la nanotecnología no es una industria o un mercado per se, sino una tecnología habilitadora de alto impacto que funciona de manera transversal con otras tecnologías e impacta a casi todas las industrias.

La nanotecnología es la manipulación de la materia en una escala de 0 a 100 nanómetros capaz de crear, controlar y transformar las propiedades de la materia con el fin de lograr que tenga mayor resistencia, durabilidad y conducción aplicable en los cuatro estados de la materia; sólido, líquido, gaseoso y plasma. Cuando se hace referencia a la nanotecnología se debe imaginar lo extremadamente pequeño de su escala que lo hace imperceptible para el ojo humano. Por ejemplo, un nanómetro es una milmillonésima parte de un metro; una pulgada es igual a 25.4 millones de nanómetros y una hoja de papel periódico tiene aproximadamente 100 mil nanómetros de grosor.

Para la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, más conocida como la NASA (por sus siglas en inglés), la nanotecnología es la manipulación de la materia a nivel atómico, donde la física convencional se descompone para crear nuevos materiales, estructuras, dispositivos y sistemas funcionales con características de rendimiento que superan a las convencionales.⁵

De acuerdo con los investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés), el poder de la nanotecnología consiste en la

manipulación a esa pequeña escala que permite reinventar la materia para remodelar el mundo.⁶

La Comisión Europea la define como la ciencia que interviene en el diseño, la producción y el empleo de estructuras y objetos que cuentan con al menos una de sus dimensiones en la escala de 0.1 milésimas de milímetro.⁷

Para el CONACYT, la nanotecnología es la manipulación de la materia a escala molecular y atómica para diseñar estructuras con propiedades y aplicaciones. El potencial radica en su escala, pues las nanopartículas de algún material pueden presentar propiedades físicas, químicas y biológicas distintas a las que presenta en escala mayor, por lo que son ideales para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones.⁸

Como se puede observar, de todas las definiciones antes mencionadas, se puede deducir que el impacto y potencial que la nanotecnología tiene en el mercado se debe a su capacidad de transformar y crear nuevos materiales innovadores.

Uno de los primeros registros de cambios en la composición de los materiales data de hace cientos de años, cuando el uso común de altas temperaturas otorgaba nuevas propiedades a los materiales. Posteriormente, en la Edad Media, los artistas mezclaban el oro y la plata para crear colores para los vitrales de las iglesias, sin saber que estaban haciendo nanotecnología.

En los años más recientes la evolución de la nanotecnología se puede observar en la línea de tiempo que se muestra a continuación.

⁵ NASA, https://www.nasa.gov/pdf/501325main_TA10-Nanotech-DRAFT-Nov2010-A.pdf

⁶ MIT, <https://mitnano.mit.edu/power-nano>

⁷ Comisión Europea, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/nanotecnologias/index.htm#1

⁸ CONACYT Prensa, <http://www.conacytprensa.mx/index.php/centros-conacyt/7617-nanotech-laboratorio-de-vanguardia-en-nanotecnologia-en-mexico-reportaje>

Evolución en el desarrollo de la nanotecnología

Años 50's	Años 70's	Años 80	Años 90	Año 2000	Año 2002	Año 2010
El premio Nobel de Física, el Dr. Richard Feynman, plantea ideas y conceptos, acerca de la manipulación y control de átomos y moléculas	Por primera vez se utiliza el término de nanotecnología y se reconoce al Dr. Norio Taniguchi como el autor.	Con el microscopio de barrido (STM) y el microscopio de fuerza atómica (AFM) nace la nanotecnología moderna. Tecnología con la que ha sido posible mejorar y crear nuevos atributos en los productos y servicios	El descubrimiento del nanotubo de carbono viene a revolucionar el potencial de la nanotecnología.	Nace el boom de la nanotecnología en la mayoría de las naciones industrializadas, a través de iniciativas que son encabezadas por sus respectivos gobiernos. A los Estados Unidos se le reconoce la primera iniciativa nacional de nanotecnología.	El Dr. Mihail C. Roco presenta las cuatro etapas de prototipos industriales y comercialización con proyección hasta el año 2020. 1. Nano estructuras pasivas. 2. Nanoestructuras activas. 3. Sistemas de nanoestructuras. 4. Nanosistemas moleculares.	La Comisión Europea expuso diferentes problemas de toxicidad para la salud y el medio ambiente derivados del uso de la nanotecnología, hecho que marcó un hito en la historia de la nanotecnología en Europa y provocó una desaceleración en cadena en el resto de las regiones.

Fuente: ProMéxico.

Analizando la evolución de la nanotecnología a nivel mundial, se observa que con el descubrimiento del nanotubo de carbono se comienzan a desarrollar una gran variedad de nanomateriales, cuyo crecimiento ha sido exponencial y hoy en día representan cerca del 80% del mercado de la nanotecnología. Las cuatro etapas⁹ a las que se hace referencia en la tabla anterior para el año 2002, son las mundialmente aceptadas porque describen la evolución de los nanomateriales, de ahí su importancia al citarlas.

A pesar del acelerado desarrollo y comercialización de productos y servicios con base nanotecnológica, se puede observar que la problemática para la salud y el medio ambiente expuesta por la Comisión Europea en 2010 ocasionó que las empresas que ya habían consolidado el escalamiento industrial de sus productos tuvieran que reconfigurar sus procesos e incluso eliminar el sufijo "nano" de su nombre comercial.

Lo que es también una realidad, es que la alerta de la Comisión Europea ha representado una ventana de oportunidad para que otras naciones incursionen en la nanotecnología, tan es así, que hoy en día más de 60 países han adoptado esta ciencia dentro de un proyecto nacional o sectorial con base en sus capacidades, infraestructura, futuro deseado, talento, gasto en investigación y desarrollo, entre otros.

Por la complejidad de la misma tecnología, su regulación es un tema central que todavía se encuentra en discusión en los principales foros a nivel mundial, principalmente respecto de su impacto ambiental y social, que ha provocado que adicionalmente se aborde el tema de normas internacionales.

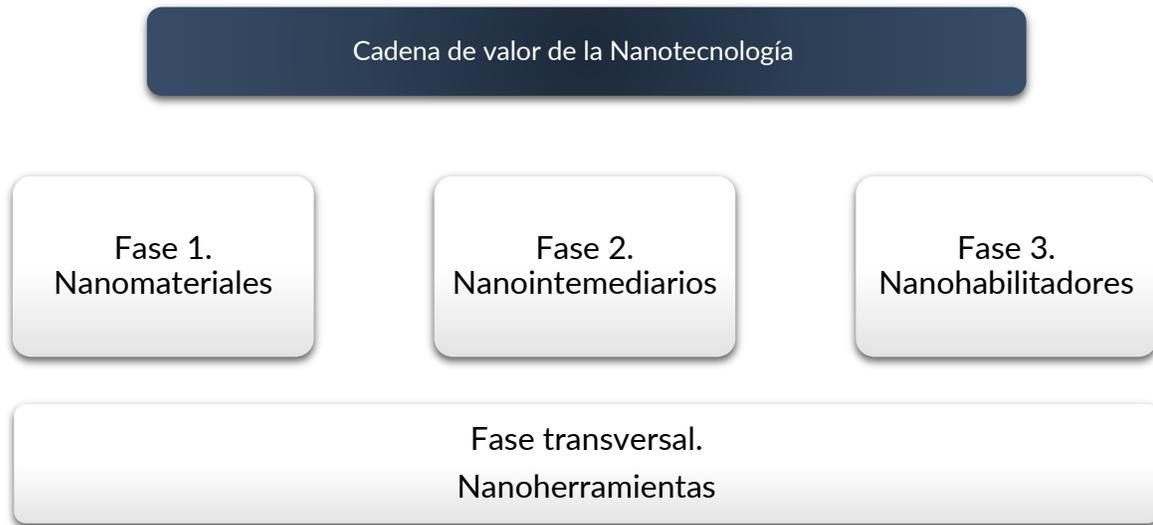
⁹ M. Roco, <https://www.scientificamerican.com/article/nanotechnologys-future/>

USOS Y APLICACIONES

La nanotecnología, al igual que la electricidad, es considerada como una tecnología de propósito general (TGP), cuyo campo de aplicación se extiende tanto como sea posible entre las industrias, formando parte de un sinnúmero de productos y servicios alrededor del mundo, y de la evolución de algunas de las tecnologías disruptivas. Los avances de la nanotecnología impactan en múltiples industrias, impulsando a las tecnologías existentes y creando nuevas con gran potencial.

La manipulación y añadiduras a nivel molecular logran transformar las características innatas de los materiales, produciendo diversas reacciones tales como una mayor conductividad eléctrica, biodisponibilidad, elasticidad, fortaleza o reactividad.

El mercado de productos y servicios que contienen nanotecnología crece día con día alrededor del mundo; sin embargo, por la complejidad de poder medir y cuantificar el aporte de la nanotecnología en los diferentes sectores, es que los expertos en la materia han definido una cadena de valor global, en la cual se clasifican los diferentes tipos de acuerdo con su grado de integración en los productos y servicios de consumo.



En la cadena de valor a la que se hace referencia, se describen las fases, con los usos y aplicaciones que corresponden a cada una de estas y que se describen a continuación:

FASE 1. Los nanomateriales son estructuras a nanoescala en forma no procesada basadas en carbón, y pueden ser inorgánicos, metálicos, polímeros o semimetálicos. Cuando su tamaño se aproxima al del átomo, manifiestan propiedades exóticas que no tienen en sus proporciones normales, características que derivan de diferentes factores tales como: una mayor escala nanométrica, mayor área superficial relativa, efecto de confinamiento cuántico, forma, composición química propia o de superficies de

la masa y las sus interfaces. Este segmento domina el mercado de la nanotecnología en el mundo en diferentes sectores, a los fabricantes les interesa contar con la capacidad para manipular el tamaño de la partícula, su forma, su composición y su grado de aglomeración, a fin de poder aprovechar las características que adquiere la materia a una nanoescala. Los usos más comunes aplican en nanotubos, nanofibras, nanocables, nanopartículas esféricas, nanopelículas, nanocápsulas.

FASE 2. A partir de los nanomateriales se desarrollan los nanointermediarios, que son productos mayormente químicos que integran nanopartículas como parte de un sistema funcional, lo que los convierte

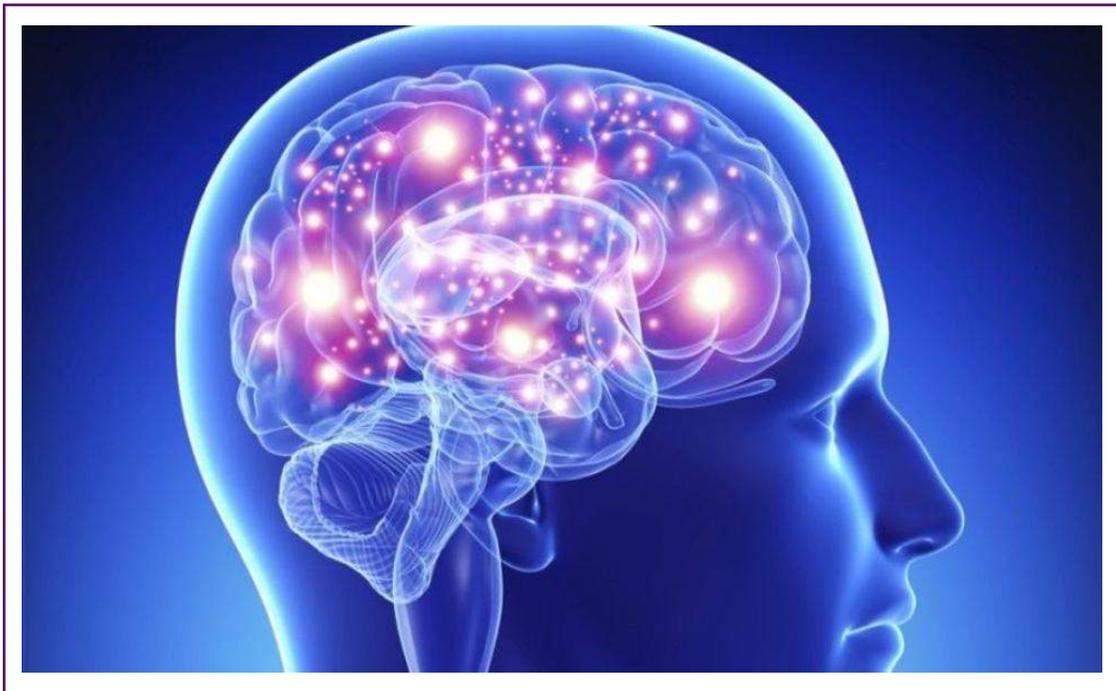
en aplicaciones de valor para los procesos industriales, a través de recubrimientos, catalizadores, sensores y nanosistemas electromecánicos mejor conocidos como NEMS (por sus siglas en inglés), además de condensadores eléctricos y generadores de energía, transportadores farmacéuticos, componentes electrónicos, circuitos integrados y nanocompuestos.

FASE 3. Una vez concluida la Fase 2, se desarrollan los productos nano-habilitados, que son bienes finales que incorporan la nanotecnología dentro de su sistema como un valor agregado, con el fin de incrementar los atributos de los productos y servicios que saldrán al mercado. Es así como es posible encontrar la aplicación de la nanotecnología en textiles particularmente del segmento deportivo, artículos del hogar, electrónicos, muebles, materiales de construcción, cosméticos, alimentos, farmacéuticos, dispositivos médicos, entre otros.

FASE TRANSVERSAL.

Para cumplir con el ciclo de la cadena de valor, es indispensable el uso de nanoherramientas que transversalmente participan en toda la cadena. Dentro de éstas se encuentra el equipo y software especializado para visualizar y manipular la materia, además de los métodos de innovación proporcionados por la comunidad científica. Con esta infraestructura, es posible la creación o mejoramiento del equipo, herramientas y software de los sistemas utilizados para la investigación, desarrollo y aplicación de la nanotecnología; y, para ello, se utilizan microscopios atómicos, nanoimpresoras de alta resolución, microscopios de efecto túnel y microscopios de barrido, entre otros.

Las etapas previamente señaladas constituyen las posibilidades de inserción de la nanotecnología en la industria. Los usos y aplicaciones antes descritos son aquellos en los cuales las industrias han encontrado gran valor para la generación de nuevos productos que elevan su nivel de competitividad.



VALOR DE MERCADO

En 2015, la nanotecnología alcanzó un valor de mercado de 34.3 MMD, del cual los nanomateriales representaron el 83.3%, siendo las películas de nanoescala y las nanopartículas los segmentos con mayor participación.¹⁰

Estimaciones indican que para el año 2021, el mercado global de productos con nanotecnologías alcanzará un valor de 90.5 MMD, lo que significa que la tasa de crecimiento anual compuesta será del 18.2%.¹¹

El mercado a nivel global clasifica a la nanotecnología en tres líneas de negocio de acuerdo con su tipo, que son: nanomateriales, nanoherramientas y nanodispositivos. En la tabla siguiente se muestran los valores y proyecciones.

Valor de mercado global de la nanotecnología

Línea de negocio	Valor de mercado en el año 2015	Proyección del valor de mercado para el año 2021	Tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR)
Nanomateriales	28.5 MMD	77.2 MMD	18.9%
Nanoherramientas	5.7 MMD	13.0 MMD	14.6%
Nanodispositivos	52 MDD	195.9 MDD	28.2%
Total	34.3 MMD	90.5 MMD	18.2%

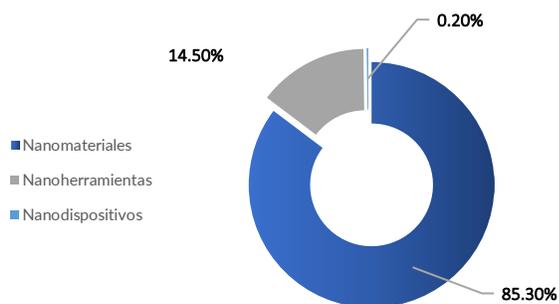
Fuente: BCC Research.

De las tres líneas de negocio, serán los nanodispositivos los que tengan la mayor tasa de crecimiento anual compuesto; no obstante, serán los nanomateriales quienes continuarán en franco crecimiento y dominando el mercado. Las películas delgadas a nanoescala tendrán la mayor participación del mercado, su crecimiento será marginal. Por otro lado, el de los nanocompuestos y los nanotubos, tienen la más alta estimación de crecimiento, lo que podría traducirse en oportunidades de negocio.

Las empresas mexicanas dedicadas a los nanomateriales están en el camino correcto y, de hecho, las tendencias respecto de las aplicaciones que se proyectan para este tipo de tecnología en 2021 están relacionadas con electrónicos, biomedicina y consumo; cuya tasa de crecimiento se estima que será 20.5%; 27.9% y 29.9% respectivamente.¹²

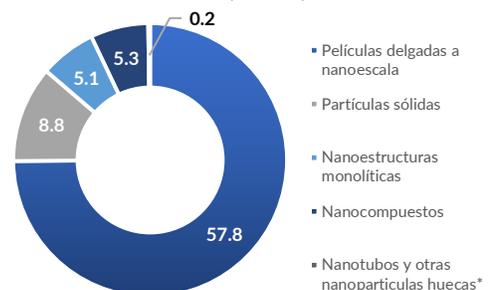
Al analizar la línea de negocio de los nanomateriales, se identificó el mercado por tipo con el fin de cuantificar la participación de mercado de cada uno, como a continuación se muestra:

Proyección de participación de mercado por línea de negocio, 2021



Fuente ProMéxico con datos de BCC Research

Mercado de nanomateriales por tipo al año 2021 (MMD)



Fuente: ProMéxico con datos de BCC

¹⁰ BCC Research

¹¹ BCC Research

¹² BCC Research

El mercado mundial de nanomedicinas fue valorado en 134.4 MMD en 2016 y en 151.9 MMD en 2017. Se prevé que este mercado crezca a una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) de 14.0% de 2017 a 2022, por lo que se prevé que alcanzará 293.1 MMD para 2022.¹³

Para el año 2021, se espera que la cuota de mercado de los nanomateriales aumente a 85.3%, mientras que la participación de nanoherramientas se reducirá a 14.5%, y la participación de los nanodispositivos aumentará levemente de 0.1% a 0.2%. En resumen, el valor de mercado se estima crecerá 2.63 veces para el año 2021 respecto al año 2015.¹⁴

Dentro de la industria, la fase correspondiente a los nanomateriales domina el mercado de la nanotecnología

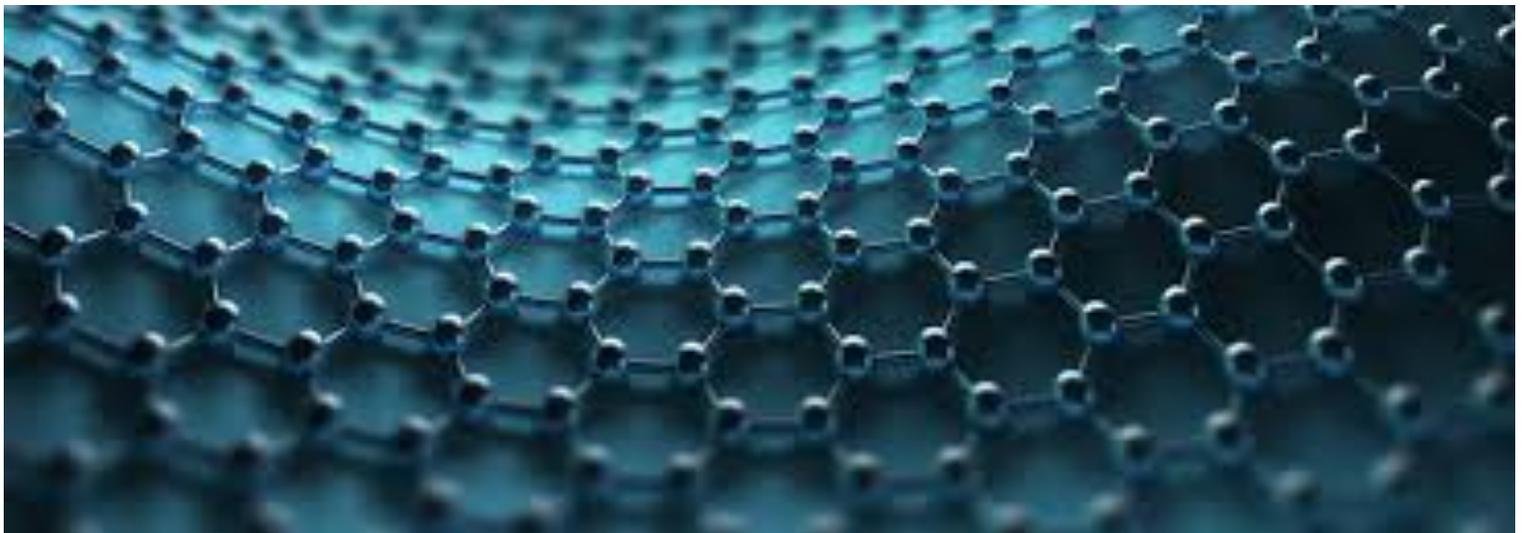
en el mundo, debido a la necesidad de incrementar la competitividad y hacer más eficientes sus procesos productivos y sus costos, al contar con un producto con características especiales, como resultado de haber manipulado el tamaño de la partícula, su forma y su composición.

La siguiente tabla muestra un cuadro comparativo entre los ingresos de los productos con nanotecnología a nivel global y el porcentaje de participación de los Estados Unidos, actual líder de la nanotecnología. De acuerdo con las estimaciones, los ingresos a partir del año 2000, derivados de los productos con nanotecnología multiplicarán mil veces su valor a nivel global para el año 2030, escenario en el que los Estados Unidos alcanzará una participación de 25% del mercado global.

**Ingresos globales de los productos que incorporan nanotecnología al 2014
y la estimación al año 2030
(en MMD)**

Región / País	2000	2010	2011	2012	2013	2014	Estimación 2020	Estimación 2030
Mundo	30	335	514	852	1,190	1,620	3,000	30,000
Estados Unidos	13	110	170	213	284	370	750	7,500
Participación de Estados Unidos con relación al mundo.	43%	33%	33%	25%	24%	23%	25%	25%

Fuente: ProMéxico con base en el documento *Affirmation of nanotechnology between 2000-2030*.



¹³ BCC Research

¹⁴ BCC Research

LA NANOTECNOLOGÍA APLICADA A LA INDUSTRIA

La mayor parte de las industrias han identificado en la nanotecnología nuevos sistemas productivos capaces de converger con otras tecnologías cuyos productos y servicios finales están modificando los mercados actuales y creando nuevos modelos de negocio. Esta nueva realidad ha impulsado la innovación en el diseño de estrategias empresariales y de cadenas productivas.

Se tiene registro de 14 sectores que aplican la nanotecnología a sus productos ¹⁵, conformados por poco más de 2 mil empresas distribuidas a lo largo de 56 países. México, por su parte, cuenta con 28 tipos de productos en los sectores automotriz, construcción, petróleo y medicina, sector en el que una empresa mexicana fue reconocida recientemente como la más grande en el mundo de la nanotecnología.

Industrias que utilizan nanotecnología en el mundo

Industrias	Productos	Empresas	Países
Electrónicos	2049	100	15
Salud	963	285	35
Cosméticos	779	190	28
Textil	693	402	39
Construcción	626	243	31
Agricultura	243	66	24
Automotriz	529	129	32
Medio Ambiente	523	214	31
Alimentos	333	125	23
Electrodomésticos	256	73	18
Petróleo	301	108	24
Impresión	137	56	20
Energías renovables	466	148	26
Deportes	144	35	18
Otras industrias	410	176	27

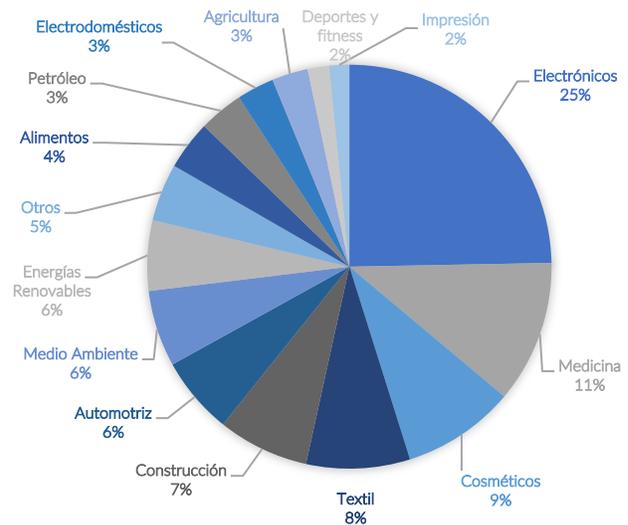
Fuente: ProMéxico con datos de Statnano.

Actualmente, las cinco principales industrias alrededor del mundo, que producen mayores cantidades de productos nanotecnológicos son: electrónica (25%), medicina (11%), cosméticos (9%), textil (8%) y construcción (8%). Las industrias; automotriz, energías renovables y medio ambiente producen en conjunto el 18%, mientras que el resto se hace cargo del otro 21% de la producción.

El sector electrónico es el líder con más de 2 mil productos; no obstante, es uno de los más costosos de acuerdo con diferentes fuentes. Los productos que más se producen a nivel mundial son sensores, circuitos integrados, procesadores y láseres con nanotecnología.

El sector salud ocupa el segundo lugar con el mayor número de productos y son los agentes antineoplásicos, restauradores, vendajes, andamios regenerativos y analgésicos lo más producidos. Estados Unidos, Alemania y China son los principales productores.

Participación porcentual de la nanotecnología por industria



Fuente: ProMéxico con datos de Statnano.

La industria textil, agrupa al mayor número de empresas con más de 400, destacan Estados Unidos, China y Alemania como productores del 50% de los productos textiles con base nanotecnológica.

¹⁵ Statnano

En la gama de los productos cosméticos elaborados con base nanotecnológica, se identifica producción en 28 países, entre los que destaca la participación de Estados Unidos, Brasil y Reino Unido. Alrededor de 200 empresas a nivel mundial han logrado el escalamiento industrial de más de 800 productos. Es importante señalar, que no todos los productos existentes cuentan con certificaciones internacionales, motivo por el cual muchas de las empresas prefieren no mencionar el tamaño de las partículas contenidas.

El sector de la construcción ha encontrado mayores beneficios en la aplicación de la nanotecnología en sus productos para fabricar recubrimientos con características especiales: hidrófobos, ignífugos o auto-limpiables; materiales más resistentes y soluciones más homogéneas que dan pie a la creación de nuevos materiales, de los que destacan como productores Estados Unidos, Alemania y China.

A continuación, se muestran las principales aplicaciones y ventajas competitivas de las industrias con mayor participación del mercado.

Electrónica

La industria electrónica cuenta con el mayor número de productos desarrollados con base nanotecnológica, gracias a la cual ha podido incrementar la capacidad de almacenamiento, fabricación de productos más ligeros y disminución de consumo de energía. Hoy en día se han aumentado las capacidades en la industria, a partir de:

1. nanorecubrimientos electrónicos conductivos e impermeables;
2. nanopelículas y tintas conductoras;
3. electrónica flexible e imprimible;
4. nanocircuitos integrados; y,
5. fotónica aplicada.

Medicina

La nanotecnología aplicada en la salud permite un mejor diagnóstico, prevención y tratamiento de enfermedades, a través del desarrollo de nanopartículas, nanosistemas moleculares y nanorobots.

Diferentes tecnologías como la biotecnología y las tecnologías de la información han utilizado a la nanotecnología como un habilitador para investigar y desarrollar soluciones que ayuden a combatir las

principales causas de mortandad en todo el mundo y que permitirán mejoras considerables, por ejemplo:

1. suministro de fármacos controlados;
2. nanobots inteligentes reparadores de tejidos y órganos vitales;
3. nanosensores para la detección y cura de enfermedades;
4. nanopartículas para la erradicación de tumores cancerígenos; y,
5. modificación del ADN con nanoherramientas.

Cosméticos

Esta industria fue pionera en la aplicación de la nanotecnología y, en consecuencia, cuenta con un número considerable de productos que se comercializan alrededor del mundo. La razón principal es que la nanotecnología mejora las propiedades de los productos al transformar sus partículas, haciéndolos más absorbentes, con mejor protección, mayor durabilidad, alto nivel antibacterial y desinfectante, gracias a los nanosomas, liposomas, fullerenos y nanopartículas lipídicas sólidas, en productos tales como:

1. bloqueadores solares;
2. cremas faciales;
3. extractos naturales; y,
4. geles.

Textiles

Las nanopartículas, nanofibras y nanodispositivos se utilizan para diseñar telas con mayor resistencia, repelencia al agua, al fuego y con propiedades antibacterianas. Hoy en día, se pueden fabricar textiles hechos totalmente de fibras a nanoescala, que, gracias a las nanopartículas, agregan propiedades únicas y valiosas, aunado a que, por su grado de innovación, han hecho posible la creación de nuevos productos, por ejemplo:

1. ropa y calzado deportivo inteligente que pueda monitorear signos vitales;
2. ropa y calzado especial para incendios con propiedades ignífugas;
3. ropa y equipo deportivo repelente al agua y a los rayos ultravioleta;
4. textiles con propiedades anti-rugosidad y con mayor resistencia; y,

5. textiles con propiedades antibacterianas y controles de olor.

Construcción y materiales

El uso de la nanotecnología contribuye a incrementar la seguridad de las construcciones al hacer posible la producción de materiales más fuertes y ligeros con propiedades especiales y autorreparables. Por otro lado, para la cadena de proveeduría, los materiales como el papel, el vidrio o el cartón que han adoptado esta tecnología, cuentan con mejores atributos de sus productos. Para ejemplificar el impacto de la nanotecnología tanto en la construcción como en los materiales, destacamos algunas de sus innovaciones:

1. cemento y cerámicos avanzados que duplican su resistencia y fraguado rápido;
2. materiales hidrófobos e ignífugos;
3. vidrio que manipula su reflectividad y temperatura;
4. papel y cartón de mayor resistencia; y,
5. materiales con mayor conductividad eléctrica.

Automotriz

La nanotecnología ha contribuido de manera crucial a la producción y desarrollo de materiales y procesos innovadores en el sector automotriz, se han desarrollado aplicaciones relacionadas con la seguridad de los pasajeros, sistemas inteligentes de orientación, reducción de contaminantes y reciclaje efectivo, este último que contribuye al ahorro de recursos escasos cada vez más indispensables en este sector. Algunos de las añadiduras con base nanotecnológica utilizadas son:

1. nanopelículas hidrófobas, autolimpiables y resistentes a los golpes;
2. recubrimientos con nanopartículas y nanocompuestos de polímero para la protección de los materiales bajo la pintura;
3. nanomateriales para alto desempeño en neumáticos;
4. catalizadores y lubricantes adicionados con nanomateriales; y,
5. nanopartículas, nanosensores y nanomateriales para la composición eléctrica del vehículo.

Energía

Las aplicaciones de la nanotecnología en el sector energético contribuyen a la mejora de sus diferentes etapas: captación, transformación, almacenamiento y distribución, con un énfasis reciente en las denominadas

energías limpias y renovables, tales como la energía solar y las basadas en el hidrógeno. Sus aplicaciones también son capaces de enmendar la escasez de combustibles fósiles como el diésel y la gasolina a través de mejores compuestos. Algunos de los productos de con base nanotecnológica en esta industria incluyen:

1. baterías con gran capacidad de almacenaje y capacidad de recarga;
2. aislantes térmicos más eficientes que reducen el consumo energético;
3. catalizadores más económicos y efectivos para producir combustible;
4. celdas solares más económicas y efectivas;
5. nanoceldas optimizadas para practicas fotovoltaicas;
6. nanocompuestos ligeros y resistentes para las hélices de motor;
7. nanocompuestos y recubrimientos para la protección de corrosión; y,
8. membranas y electrodos nano-optimizados para la eficiencia de combustible.

Tecnologías ambientales

Además de mejorar la eficiencia energética, la nanotecnología ayuda a detectar y limpiar contaminantes ambientales que contribuyen a satisfacer la necesidad de contar con agua limpia a través de la detección y el tratamiento de las impurezas en el agua a través de diferentes métodos más rápidos y económicos tales como:

1. filtros nano-habilitados y nanocatalizadores para la purificación del aire y agua;
2. nanomateriales y nanocompuestos para la obtención limpia de hidrógeno;
3. nanopartículas para la captura de dióxido de carbono;
4. nanopartículas para la limpieza de desechos radiactivos; y,
5. nanopartículas para procesos foto catalíticos.

Agricultura y alimentos

La nanotecnología contribuye con el desarrollo de innovadores agroquímicos para disminuir el uso de pesticidas, además de nuevos mecanismos de distribución para mejorar y aumentar el rendimiento de los cultivos, sin dañar el suelo ni el agua y optimizando la incorporación duradera de nutrientes por parte de los microorganismos en el suelo.

Asimismo, gracias a la nanotecnología se desarrollan productos fitosanitarios más eficientes con impacto ambiental reducido, así como variedades de alimentos resistentes a los insectos mediante la transferencia de ADN en las plantas o en el gen mediado por nanopartículas. Algunos de los productos que se desarrollan son:

1. pesticidas y fertilizantes amigables con el ambiente;

2. nanosensores para monitoreo y detección de contaminantes químicos y biológicos; y,
3. empaques de alimentos con nanopartículas antimicrobianas y nutrientes nanoencapsulados.

Una vez determinadas las principales industrias, fue posible identificar a los cinco países con mayor número de productos desarrollados por industria, tal como lo muestra la siguiente tabla:

Principales países por industria de acuerdo con el número de productos

Electrónico <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Suiza › Japón › China › Corea del Sur 	Medicina <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Alemania › China › Irán › Japón 	Cosméticos <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Brasil › Reino Unido › Francia › Alemania 	Textil <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › China › Irán › Alemania › Reino Unido 	Construcción <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Alemania › China › Rusia › Irán
Automotriz <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Alemania › Nueva Zelanda › Bélgica › Irán 	Medio Ambiente <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › China › Corea del Sur › Alemania › Canadá 	Energías Renovables <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › China › Alemania › Italia › Reino Unido 	Alimentos <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Australia › China › Rusia › Irán 	Petróleo <ul style="list-style-type: none"> › Estados Unidos › Rusia › Reino Unido › Singapur › China
Electrodomésticos <ul style="list-style-type: none"> › Japón › Corea del Sur › Estados Unidos › Irán › Alemania 	Agricultura <ul style="list-style-type: none"> › India › Alemania › Reino Unido › Japón › Estados Unidos 	Deportes y Fitness <ul style="list-style-type: none"> › Reino Unido › Japón › China › Canadá › Estados Unidos 	Impresión <ul style="list-style-type: none"> › China › Estados Unidos › Japón › Corea del Sur › Alemania 	Otros <ul style="list-style-type: none"> › China › Estados Unidos › Irán › Rusia › Corea del Sur

Fuente: ProMéxico con datos de StatNano.

Como resultado del análisis realizado y aun cuando el tamaño de las economías de los países líderes varía, se identificaron algunos subsectores que los países líderes han definido como estratégicos para posicionarse en los negocios globales, por ejemplo:

- ▶ China es el país que más desarrollo tiene en impresión 3D.
- ▶ Brasil está volcado a la nano en la industria de cosméticos, razón por la cual el 74% de su producción corresponde a este sector.
- ▶ Rusia tiene una clara estrategia enfocada en los sectores de construcción y petróleo.
- ▶ En Suecia casi el 80% de la nanotecnología que se desarrolla, está enfocada en la industria de electrónica.

En el caso de México no existe una identificación de sectores o prioridades estratégicas.

PAÍSES LÍDERES

Para poder identificar las naciones que van a la vanguardia en la aplicación de la nanotecnología, fue indispensable realizar un análisis histórico sobre cuatro indicadores que pueden explicar el grado de enfoque estratégico que cada país tiene sobre la materia, y que se refieren a: 1) la inversión que realizan en I+D+i; 2) los documentos que publica la comunidad científica, 3) el desarrollo de productos y servicios y 4) número de patentes registradas, con el fin de identificar si los cuatro elementos que fueron evaluados definen a un país líder.

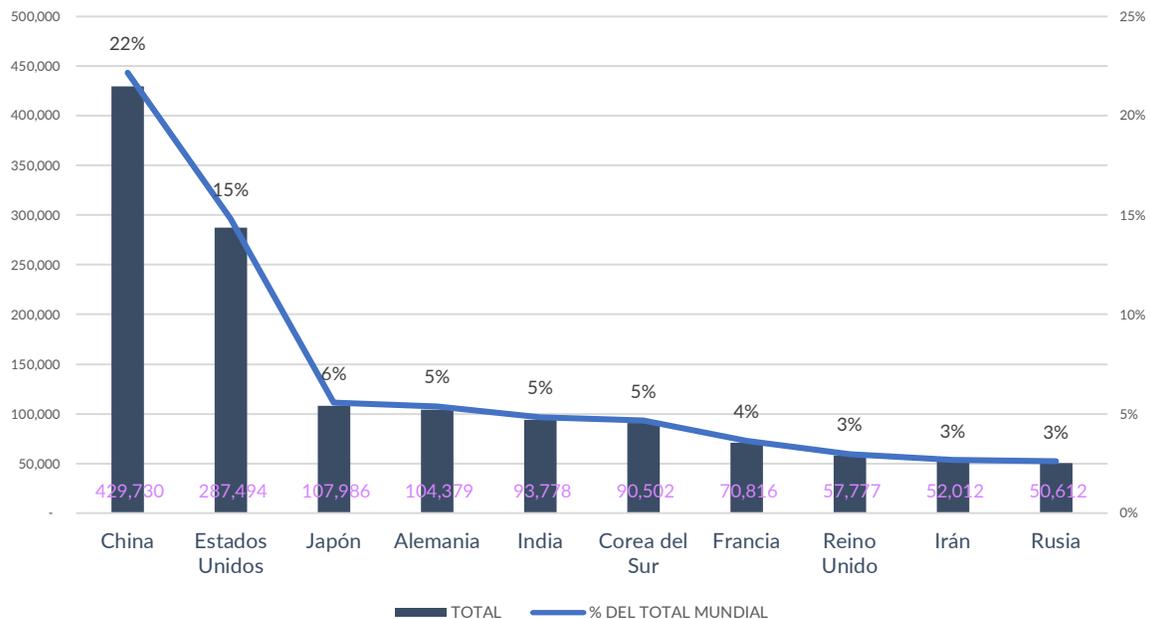
Durante el ejercicio, la principal problemática fue poder identificar la materia de la nanotecnología en las propias

fuentes, dado que la subclasificación existente abre un mundo de datos no necesariamente relacionados, derivado del uso del sufijo “nano” en múltiples materias. El reto entonces fue el poder eliminar los datos que no formaban realmente parte y que permitieran una adecuada dimensión del tema.

Por número de documentos publicados

Con esto como base, se pudo identificar que, a nivel mundial en los últimos 18 años, los 106 países registrados han publicado casi 2 millones de documentos relacionados con nanotecnología; de éstos, 69% han sido elaborados por tan solo diez países. México se ubica en el lugar 26 con 10,799 publicaciones y a nivel Latinoamérica, se posiciona en segundo lugar después de Brasil.

Países con el mayor número de documentos científicos publicados a nivel mundial.
Histórico que comprende del año 2000 a junio 2018



Fuente: ProMéxico con datos de Statnano.

A diferencia de los resultados arrojados en el histórico, las posiciones de los países en el año 2017 cambian, colocando a India, Irán y Corea del Sur en tercer, cuarto y quinto lugar, respectivamente, desplazando a Alemania, Japón y Francia. China continúa ocupando el primer lugar, incluso con un mayor porcentaje mundial

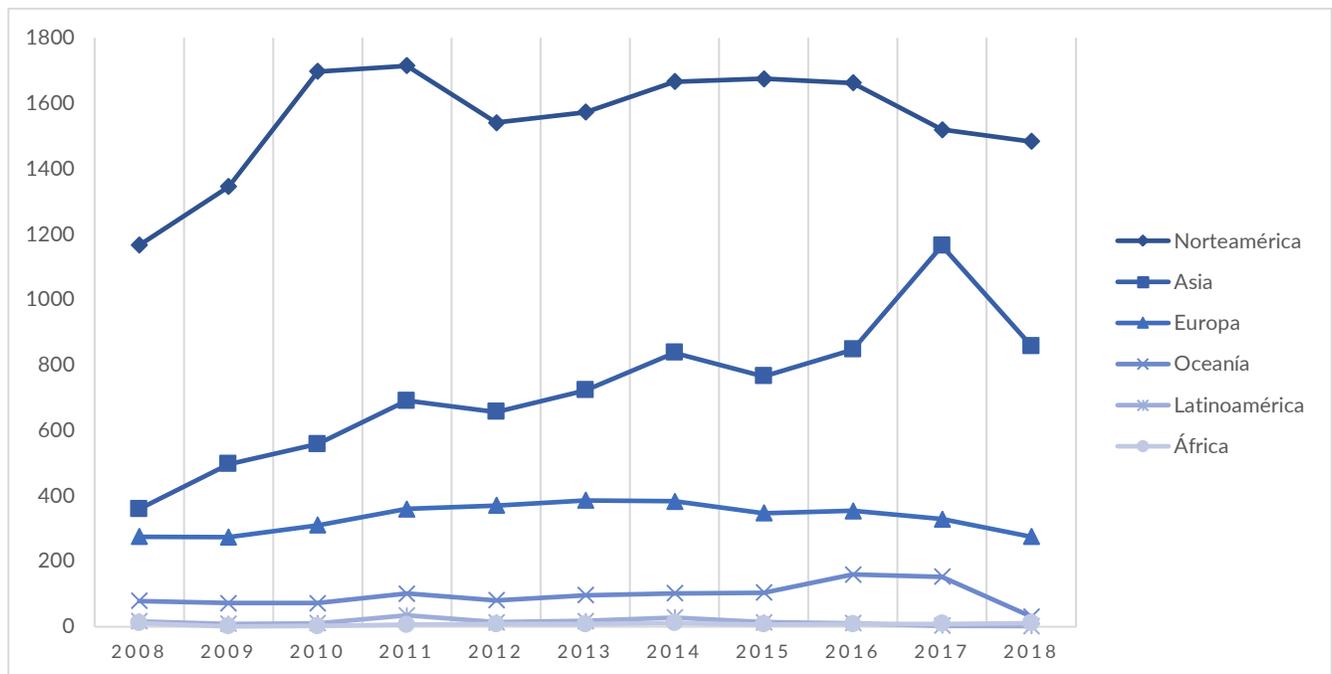
equivalente a 27.3%; mientras México, por su parte, se ubica en el lugar 28 con 1,361 publicaciones, que es el mayor número registrado en toda su historia, lo que lo posiciona como una fuente de desarrollo e innovación para la elaboración de productos y servicios con base nanotecnológica.

Por patentes

De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Propiedad Industrial (OMPI), durante los últimos 10 años se han registrado alrededor de 45 mil patentes de nanotecnología a nivel mundial. Como se puede apreciar en la tabla siguiente, en la distribución por región, existe un dominio de Norteamérica, región que por porcentaje participa con el 57% (Estados Unidos 47% y Canadá 10%); Asia registra el 27% (China 13%, Japón 7% , Corea del Sur 4%, otros 3%); Oceanía con el

4% gracias a Australia; África y Latinoamérica; por su parte, suman apenas el 1% de las patentes registradas globalmente. Para el caso europeo, la participación es de alrededor del 12%, pero es importante señalar que la propia OMPI agrupa sus propios registros con las patentes registradas por la y la Oficina de Patentes Europea (EPO por sus siglas en inglés)¹⁶, sin desglosar el porcentaje de contribución por país.

Patentes de nanotecnología registradas en la OMPI por región
(2008 - 2017)



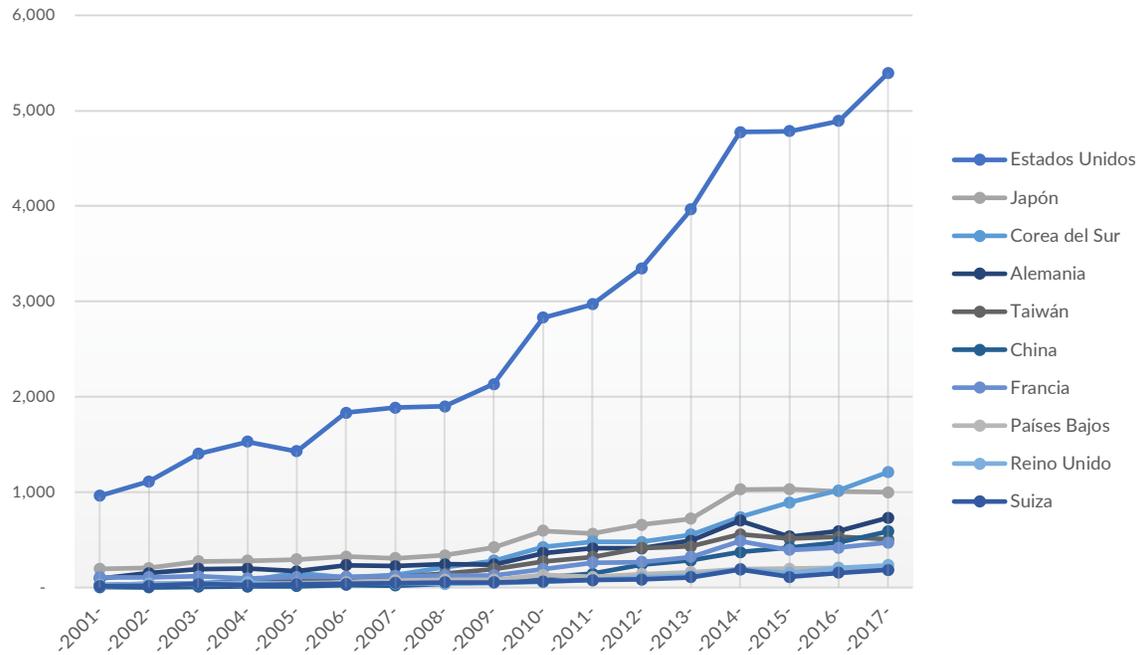
Fuente: ProMéxico con datos de OMPI.

Considerando el registro de la OMPI y para poder identificar más a detalle a los países líderes, se hace necesario consultar y analizar los datos de dos de las oficinas de patentes destacadas por el registro de patentes nanotecnológicas a nivel mundial; la Oficina de

Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés) y la EPO, las cuales además de desglosar los países europeos, registran las patentes del país que mantiene el liderazgo a nivel mundo con prácticamente la mitad de las patentes registradas.

¹⁶ EPO: Oficina Europea de Patentes por sus siglas en inglés.

Total de patentes registradas en USPTO + EPO por país (2001 - 2017)



Fuente: ProMéxico con datos de StatNano.

Estados Unidos se ha mantenido como región líder con la mitad de las patentes registradas a nivel mundial, mientras las tres siguientes posiciones las ocupan países asiáticos como Japón, Corea del Sur y Alemania.

México, por su parte, ocupa la segunda posición de la región latinoamericana, sólo después de Brasil, país que por la naturaleza del sector cosmético al que se enfoca, registra numerosas patentes de este tipo de productos.

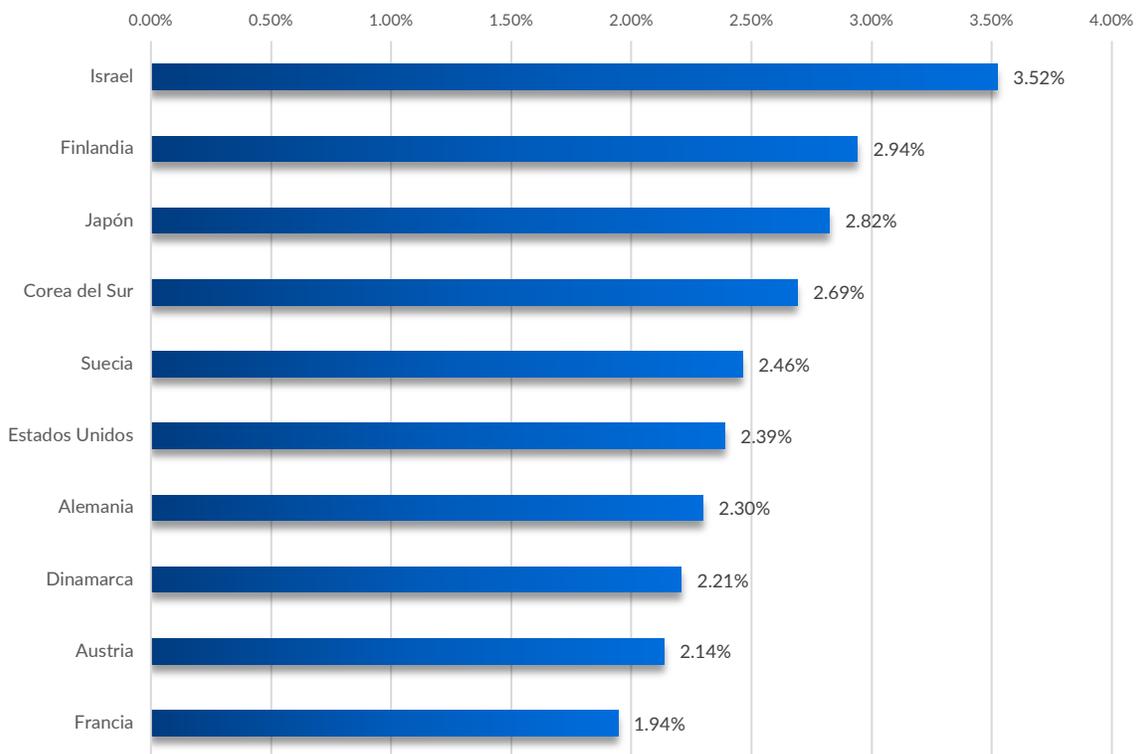


Por inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

De acuerdo con datos del Banco Mundial, a nivel global la inversión promedio respecto del porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) durante el periodo comprendido entre 1996 y el año 2015, muestra que Israel es el país que más ha invertido en I+D+i con un 3.52% de participación.



Inversión promedio expresada como % del PIB en I+D+i
(histórico 1996 - 2015)

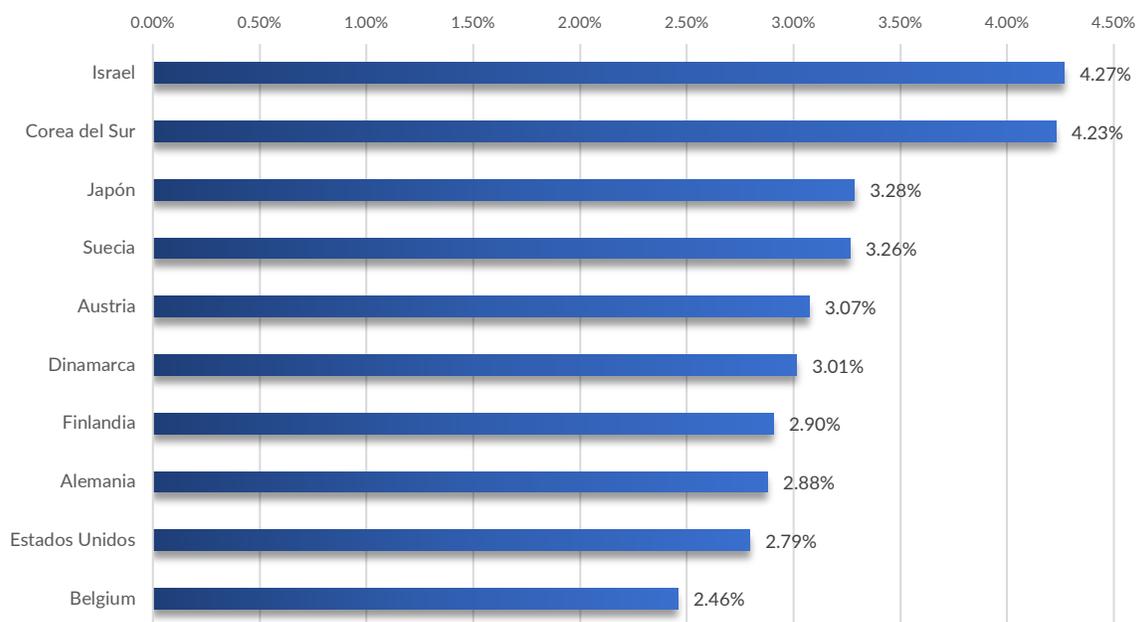


Fuente: ProMéxico con datos del Banco Mundial.

A diferencia de los datos históricos, si se analiza el año 2015 (último registro del Banco Mundial), es posible observar que se mantienen como líderes 9 de los 10 países representados en el histórico; Francia es sustituida por Bélgica; Corea del Sur escala dos

posiciones y se acerca al líder con tan sólo una diferencia de 0.04%. Por otra parte, se observa que todos los países de la tabla incrementaron su porcentaje de inversión respecto del PIB.

Inversión promedio expresada como % del PIB en I+D+i (2015)



Fuente: Banco Mundial.

El porcentaje respecto del PIB al que se hace referencia, al momento de monetizarlo cambia las posiciones de los países en virtud de que el tamaño de las economías por nación varía y nos proporciona otra perspectiva.

De acuerdo con la UNESCO¹⁷ y con datos al año 2016, China fue la segunda potencia después de Estados Unidos por monto de inversión. Es importante destacar el caso de China por dos razones: la primera por ser el país que ha tenido el mayor crecimiento anual promedio de 18.3% de gasto en I+D+i, en comparación con la media de los países de ingresos medios-altos, cuyo crecimiento anual es del 1.4%. El gasto que China dedica a I+D+i sólo representa el 2% de su PIB, pero esto significa que

este país inyecta cada año en el sector unos 369 MMD. Lo anterior significa que, como segunda razón, China se acerca cada vez más a Estados Unidos, país que representa casi el 30% del gasto mundial en I+D+i.

Del total de la inversión en I+D+i respecto del PIB de los países líderes, se registra que, en promedio, el 70% de los recursos provienen del sector privado, lo que se puede traducir en un factor clave para el impulso de la investigación, desarrollo e innovación. Como resultado, la participación de capital privado coloca a Israel nuevamente en la primera posición a nivel mundial con el 84.6%.

¹⁷ UNESCO.

http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/how_much_do_countries_invest_in_rd_new_unesco_data_tool_re/

Porcentaje de la participación de la industria en la inversión para la I+D+i

País	% GDP	% de participación de la industria
Israel	4.2	84.6
Corea del Sur	4.3	78.2
Japón	3.4	77.8
Suiza	3.2	71.5
Estados Unidos	2.7	71.5
Austria	3.1	71.3
Bélgica	2.4	69.9
Finlandia	3.2	67.7
Alemania	2.9	67.7
Eslovenia	2.4	67.3
Suecia	3.1	67.0
Dinamarca	2.9	63.8
Francia	2.3	63.6
Singapur	2.2	62.2
Australia	2.2	56.3
Promedio	2.9	69.36

Fuente: ProMéxico con datos de la UNESCO.

Inversión destinada a la I+D+i en nanotecnología

De acuerdo con datos de BCC Research, al menos 60 países (entre los que se encuentra Estados Unidos como el mayor inversor), apoyan activamente la investigación y comercialización de la nanotecnología a través subsidios públicos y privados. Los gobiernos en conjunto invierten cerca de 10 MMD anuales en I+D+i enfocada a la nanotecnología, que equivalen al 0.17% del total de la I+D+i en general.

Como se ha mencionado, el gobierno de Estados Unidos es el más grande inversionista en nanotecnología y fue

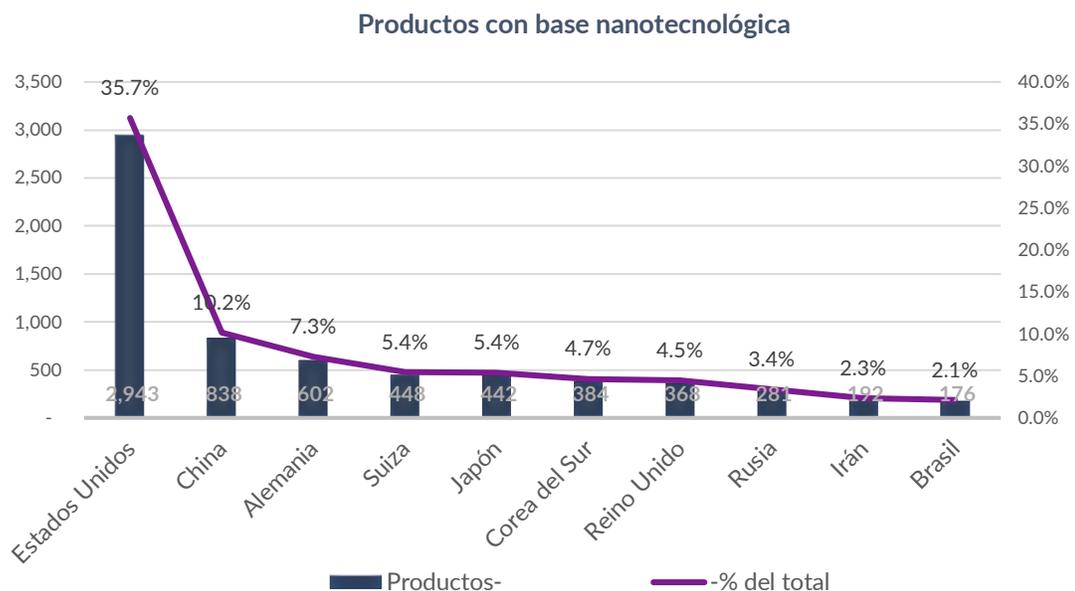
el primero en crear una iniciativa enfocada en la materia denominada Nanociencia y Nanotecnología (NNI por sus siglas en inglés) creada en 2001 con una inversión inicial de más de 1 MMD. Desde el inicio de operaciones y hasta 2017, la NNI ha recibido 25 MMD, lo que significa que cada año se le asigna un promedio de 1.4 MMD.

Los miembros de la Unión Europea son otro grupo de fuertes inversionistas en nanotecnología; seguidos de los gobiernos de China, Japón y Rusia.

Por número de productos con base nanotecnológica en la industria

En 56 países, cerca de 8,500 productos¹⁸ con base nanotecnológica se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales. La línea por tipo se extiende a más de 1,000 diferentes productos. El mercado es dominado por Estados Unidos, China y Alemania

quienes en suma cuentan con el 53.2% de participación. México ocupa el lugar 25 que lo coloca en la segunda posición en Latinoamérica y a nivel mundial, arriba de la media tabla.



Fuente: ProMéxico con datos de StatNano.

¹⁸ Statnano

Países líderes en nanotecnología

Para poder establecer una correlación entre el número de publicaciones de documentos científicos, el número de patentes registradas, número de productos nano y porcentaje inversión en I+D+i patentes que definen a los países líderes, se determinó una ponderación tomando como criterios los tiempos de desarrollo de

productos con base nanotecnológica, la estrategia país y la visión prospectiva de negocios.

Con esto como base se realizó un análisis a partir del cual se pudieron definir los países líderes, los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Países líderes en nanotecnología
(Con base en la ponderación)

Posición	País	Documentos científicos (2001-junio 2018)	Patentes USPTO + EPO (2001-2017)	Productos base nano aplicados	Inversión en I+D representada como % del PIB (Promedio 1996-2015)
1	Estados Unidos	287,494	47,141	2,943	2.63%
2	China	429,730	2,823	838	1.32%
3	Japón	107,986	9,253	442	3.11%
4	Alemania	104,379	5,985	602	2.53%
5	Corea del Sur	90,502	6,867	384	2.96%
6	Reino Unido	57,777	1,516	368	1.63%
7	Suiza	21,727	1,297	448	0.66%
8	Taiwán	39,341	4,343	148	2.41%
9	Francia	70,816	3,845	100	2.14%
10	Rusia	50,612	114	281	1.10%

Fuente: ProMéxico con datos de Banco Mundial, OCDE y Statnano.

Los datos analizados prevén posibles cambios a futuro en las posiciones de los países líderes. China es un caso para observar, por su crecimiento anual en términos absolutos, particularmente en documentos publicados e inversión en I+D+i. Israel, por su parte, tiene el mayor porcentaje de inversión privada lo que podría significar menor tiempo para alcanzar la madurez de los productos que hoy están desarrollándose. Japón ocupa el segundo lugar por número de patentes y el quinto por

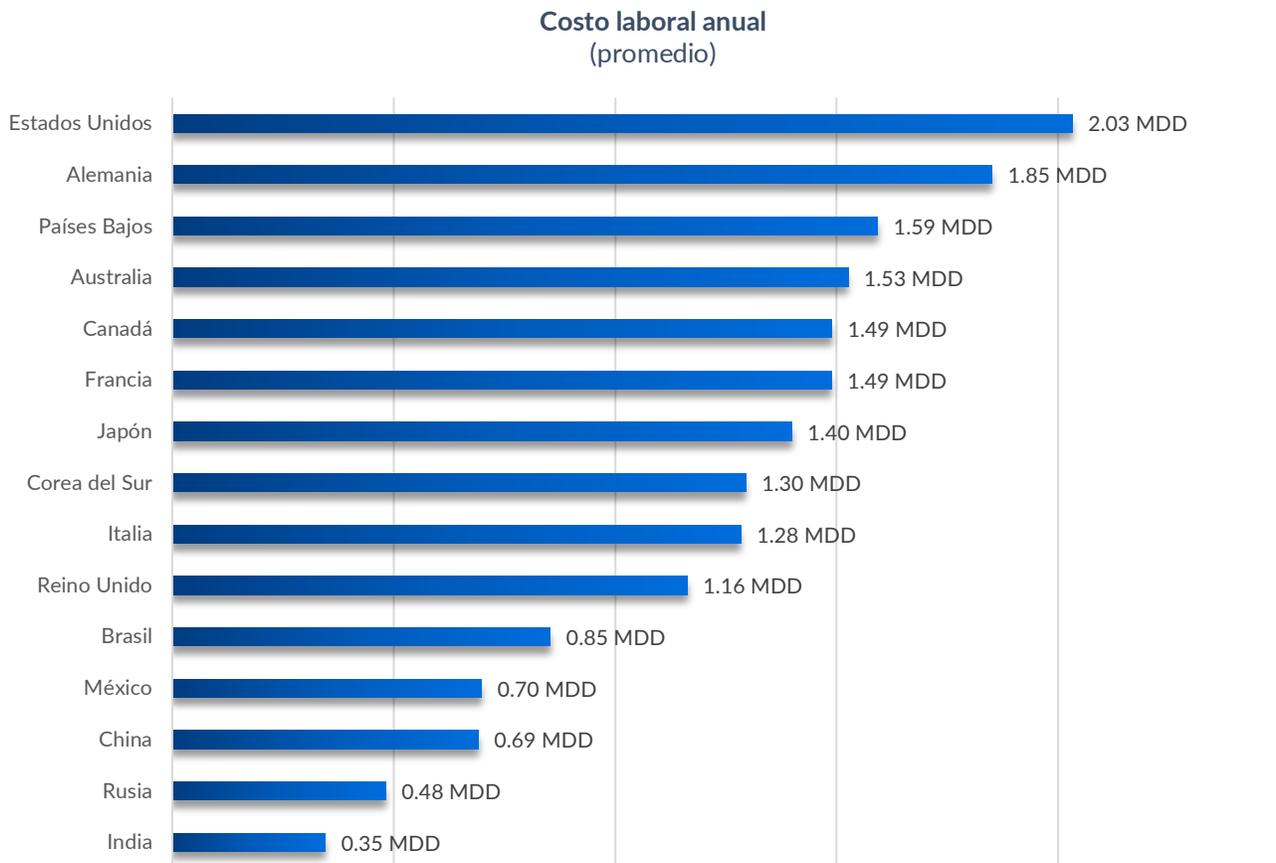
número de productos desarrollados con más de 70 líneas, y de continuar con este ritmo, pudiera posicionarse como número uno en los nichos donde hoy ya es uno de los países líderes. Un país que no figura en la tabla es Brasil; sin embargo, tiene una fortaleza sectorial gracias al número de productos cosméticos con base nanotecnológica, lo que le ha permitido alcanzar el escalonamiento productivo e incursionar en los negocios globales.



Las aplicaciones futuras para
la nanotecnología parecen
estar limitadas
solo por la creatividad de
los investigadores.

COSTOS LABORALES

Un estudio realizado por fDi Benchmark determinó el costo laboral anual promedio de las empresas relacionadas con la nanotecnología en países seleccionados como se muestran en el gráfico siguiente:



Fuente: ProMéxico con datos fDi Benchmark.

Respecto de los países líderes, la fuente consultada no incluye a Suiza y Taiwán en sus datos, lo que no permite analizar ampliamente dichos costos para todos los países líderes.

Para México es estratégica la cercanía con dos importantes países que gastan anualmente 3.52 MDD: Estados Unidos, líder mundial en nanotecnología; y Canadá, que cuenta con importantes avances en la materia, ambos en estrecha coordinación en materia de

regulación a la cual México podría incorporarse. Esta realidad se suma al hecho de que nuestro país figura entre los que ofrecen costo laboral competitivo en nanotecnología, a la par de economías como China y mejorando otras como Brasil en el caso latinoamericano, lo que hace que México sea un destino favorable para la inversión nanotecnológica de los países líderes que busquen eficientar sus costos laborales y por ende mejorar sus procesos productivos.

REGULACIÓN

La regulación de la nanotecnología es aún incipiente y se reglamenta de distintas maneras alrededor del mundo, lo que origina que cada uno de los países involucrados con esta tecnología se enfrente a diversas problemáticas como pueden ser de carácter social y ambiental. Por este hecho, algunos países aplican las regulaciones existentes para macro escala, aun cuando es claro que las propiedades a nanoescala son diferentes.

Los gobiernos se han apoyado de la comunidad científica y los organismos especialistas de esta tecnología, para poder delimitar un marco regulatorio que abarque todos los detalles que implica el desarrollo, utilización y consumo de la nanotecnología. El siguiente cuadro muestra algunos de los más importantes hitos en la historia de la regulación de la nanotecnología, que fueron seleccionados para los fines del presente estudio:

Hitos internacionales en la regulación de la nanotecnología

1981-1990

El MIT publica el primer documento que aborda el tema de regulación. Japón, China, y Estados Unidos publican las primeras regulaciones.

1991-2000

Estados Unidos emite lineamientos con medidas de seguridad.

2001-2010

Estados Unidos crea el Centro de Responsabilidad en Nanotecnología (CRN).
Reino Unido advierte sobre los riesgos de la toxicidad de la nanotecnología y propone detener su desarrollo.
Se funda el Consejo Internacional de Nanotecnología (ICON) con la participación de Reino Unido, Japón, China y Estados Unidos.
La USPTO crea la clasificación 977 para las patentes de nanotecnología.
Estados Unidos crea el Nanotechnology Standards Panel para coordinar el desarrollo de normas en el área de la nanotecnología.
Reino Unido crea un centro de investigación enfocado en identificar y atender riesgos que deben ser regulados.
La UE propone garantizar una apropiada regulación de la nanotecnología.
La Organización Internacional de Normalización (ISO) inicia trabajos para la estandarización de procesos con Canadá, Japón y Estados Unidos.
La UE adopta un plan de acción para evaluar y disminuir riesgos en las distintas etapas de la nanotecnología.
La OCDE publica el documento "Oportunidades y riesgos de la nanotecnología" que sienta un precedente para la evaluación regulatoria.
Australia es el primer gobierno a nivel internacional que través de su organismo regulador hace un levantamiento del uso de la nanotecnología con la comunidad empresarial.
Estados Unidos, California es el primer estado en legislar sobre la obligación de rendir cuentas respecto del impacto en la salud y medio ambiente por parte de importadores y productores.
La UNESCO emite recomendaciones para regular a nivel nano escala.
La FDA anuncia que la regulación de productos con base nanotecnológica representa un reto y establece el camino que se debe seguir para contar con transparencia y consistencia.
Canadá propone un marco regulatorio para los nanomateriales.
La UE brinda asesoría sobre el manejo de los nanomateriales en concordancia con REACH y con la regulación del CLP.
La UE presenta su primer documento sobre regulación en nanotecnología y señala los aspectos obligatorios.
Canadá reporta que su regulación sobre nanomateriales cumple de forma satisfactorio.
La EU aprueba la regulación para el sector de cosméticos y de alimentos.
Francia adopta la Ley Grenelle y establece como mandatorio que las empresas reporten el uso de los nanomateriales.
Canadá y Estados Unidos crean un acuerdo de cooperación regulatoria (RCC).

2011-2018

La FDA emite las directrices que la industria debe cumplir para clasificar un producto como nanotecnológico.
La FDA incorpora dentro las directrices al sector de alimentos y de cosméticos que deben ser sujetos de regulación.
UE adopta las recomendaciones de REACH.
La OCDE publica los parámetros que son relevantes para la regulación de la nanotecnología.
La agencia de protección ambiental (EPA) de Estados Unidos a través incluyó en la Ley que todos los materiales de la nanoescala son sustancias químicas que deben ser investigadas y reguladas exhaustivamente; y emitió una guía.¹⁹
La EU actualizó su legislación sobre la nanotecnología para que los involucrados tengan mayor claridad sobre lo que está y no permitido.

Fuente: ProMéxico con datos de la Comisión Europea, ISO, OCDE, NNI, FDA, EPA y ANSI.

¹⁹ <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16440>

Las implicaciones en la salud y medio ambiente son el debate más profundo, situación que no ha permitido alcanzar una regulación aceptada a nivel global. Algunas regiones cuentan con acuerdos regulatorios, como es el caso de la Unión Europea y América del Norte, pero como se puede observar en los hitos arriba indicados, la regulación existente es muy reciente, razón por la cual, los organismos responsables de regular a la nanotecnología mantienen una actividad permanente de actualización.

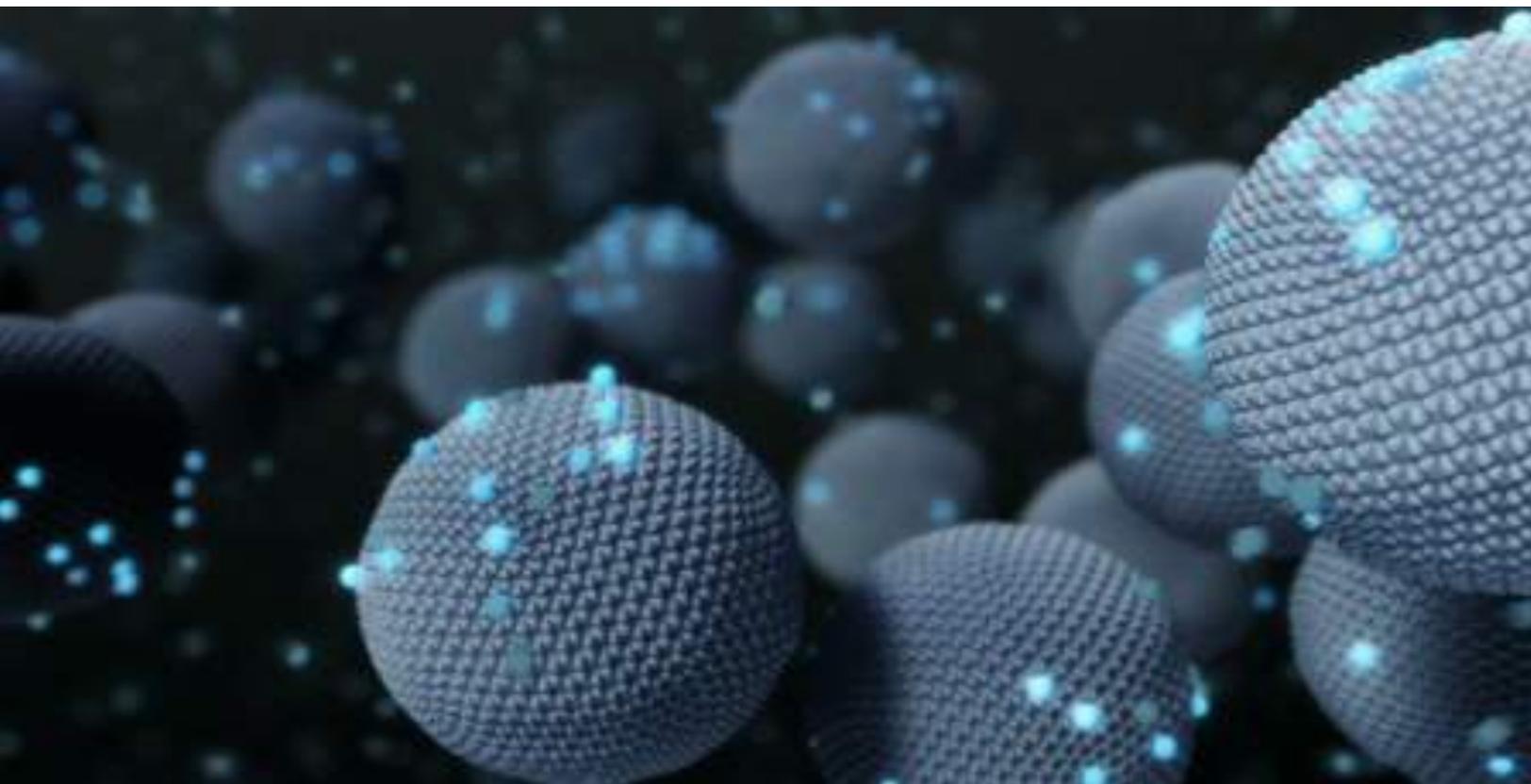
El acuerdo que ha tenido la mayor aceptación es la definición única de nanomateriales, tema central para el desarrollo de regulaciones porque representa el 80% de los productos con base nanotecnológica que se comercializan en el mercado.

A pesar de la activa participación de organismos internacionales privados y públicos, definir los riesgos o criterios de evaluación de los nanomateriales es una tarea compleja, porque la identificación de las propiedades contenidas puede ser complicada, y es por eso por lo que existen amplios criterios de clasificación.

Su caracterización requiere de una valoración clara y detallada para evitar riesgos y adicionalmente, se debe considerar el ritmo acelerado de crecimiento de la nanotecnología que continúa impactando a prácticamente todos los sectores con más de ocho mil productos a nivel mundial.

Las regiones que todavía requieren mayor claridad sobre la regulación recurren a la interpretación de estándares mundialmente aceptados de distintos organismos públicos y privados que han servido como referencia.

México ha adoptado los estándares emitidos por la Nanotechnology Standards Panel (ANSI-NSP por siglas en inglés) ²⁰ que incluyen, entre otros: nomenclatura, terminología, aspectos de salud, seguridad, medio ambiente, propiedades de los materiales, procedimiento de prueba, medición y caracterización. Esta adopción se ve reflejada por la constante publicación de estudios alrededor de la regulación global, por parte del gobierno, la industria y la academia.



²⁰ ANSI, <http://nanostandards.ansi.org/tiki-index.php>

TENDENCIAS GLOBALES

Las tendencias para los años 2020-2030 apuntan a que la nanotecnología incursione con las tecnologías disruptivas, lo que la posicionará como el más grande habilitador en la innovación de productos y servicios

Principales tendencias por usos y aplicaciones

Semiconductores energéticos basados en Carburo de Silicio (SiC) y Nitruro de Galio (GaN). Próxima generación de materiales y tecnologías para el ahorro de energía en todas sus fases: transporte, conversión, control y suministro; semiconductores de potencia para su uso en rectificadores e interruptores de alta eficiencia y con mayor voltaje de ruptura y menor pérdida o resistencia de encendido; con una banda más ancha que la del silicio para su aplicación práctica.

Dispositivos de almacenamiento de mayor capacidad y desempeño. Próxima generación de dispositivos con mayor rendimiento, confiabilidad, durabilidad y potencia de salida que maximicen el uso de energía renovable, a fin de absorber y suavizar la variación de voltaje para producir una salida constante; desarrollo de electrolitos sólidos a base de óxido, sulfuro o polímeros, con una conductividad iónica comparable a los electrolitos líquidos para resolver los problemas de deformación, expansión y combustión causados por el sobrecalentamiento.

Bio-fabricación y medicina regenerativa como las impresiones 3D para generar tejidos y órganos. Tecnología de impresión capaz de organizar células y biomateriales en las posiciones deseadas (bioimpresión); tejidos y órganos que poseen biofunciones in vitro; biomineralización; nanodispositivos y nanofluidos para construir tejidos y órganos con estructuras y funciones 3D que se aproximan al tejido biológico real; medicina regenerativa.

Neuroimágenes para la medición eléctrica y óptica de las actividades cerebrales. Monitoreo de la actividad

derivados de la nanotecnología en la mayoría de los sectores económicos.²¹ Los dispositivos y materiales creados con nanotecnología avanzada serán los que dominen las tendencias tecnológicas hacia 2030. Se estima la nanotecnología podría superar la revolución digital en términos económicos y de impacto social, una vez que los métodos de investigación y manufactura alcancen su madurez.²²

cerebral y neuronal, a través del desarrollo de procesadores de datos compactos y de baja potencia creados mediante la integración de sistemas de comunicación y neuroimágenes para el establecimiento de una infraestructura basada en las TIC que permita desarrollar una ingeniería neuromórfica a fin de modelar la estructura y las funciones del cerebro con ayuda de la robótica y la ciencia de datos, para procesar una gran cantidad de información y favorezca los avances en general de imágenes y análisis del cerebro.

Nanorobots bio-moleculares que realicen diagnósticos y suministren medicamentos. Nanorobots y nanodispositivos que proporcionen enfoques más precisos, fiables, rentables y rápidos en el diagnóstico y el tratamiento de la salud; nanopartículas más pequeñas que las células humanas utilizadas como sondas que al conjugarlas con péptidos, anticuerpos y ácidos nucleicos detecten movimientos celulares y cambios moleculares asociados con estados patológicos.

Dispositivos de Inteligencia Artificial para la adopción de otras tecnologías como el Internet of Things (IoT). Dispositivos con mayor velocidad, menor tamaño y menor consumo de energía que se vinculen a través de una amplia red de sensores habilitados con tecnologías como la IA y el Deep Learning del Machine to Machine (M2M).

Computación Quantum. Computación de alta velocidad mediante la mecánica cuántica y los sistemas cuánticos para la aplicación de la IA, aplicable a problemas de optimización sin software, resistente al ruido y más rápido que el proceso clásico de recocido simulado.

²¹ M. Roco, Overview: Affirmation of Nanotechnology between 2000 and 2030

²² M. Roco, Overview: Affirmation of Nanotechnology between 2000 and 2030

Marcos porosos (PCP, MOF y COF). Compuestos con nanoespacios controlables que podrían usarse para campos de adsorción y desorción altamente selectivos, conductividad electrónica/iónica y reacciones específicas.

Diseño de materiales basados en datos. Tecnología que combina Información con la ciencia, bases de datos y aprendizaje automático: la informática de materiales.

Aisladores topológicos. Próxima generación de materiales y dispositivos electrónicos que exhiben un estado metálico exterior único en su límite y suministran corriente no disipativa.

Ingeniería de fonón. Nuevos nanomateriales y nanodispositivos que tratan y controlan el calor de origen.

Principales tendencias por sector

Manufactura: fabricación de materiales como plásticos reforzados con fibra; catalizadores de nanopartículas; revestimientos; aislamiento y filtración; transporte (automóviles, camiones, trenes, aviones y barcos); y, robótica (actuadores y sensores).

Salud y ciencias de la vida: sensores de diagnóstico y monitoreo (cáncer); cosméticos; productos alimenticios y empaques; protección solar; herramientas quirúrgicas; dispositivos implantados; filtración, tratamientos; terapias de radiación contra el cáncer; formulaciones de medicamentos; agentes de contraste; sistemas de administración de medicamentos; bio-fabricación y medicina regenerativa; impresiones 3D para generar tejidos y órganos; neuroimágenes para la medición eléctrica y óptica de las actividades cerebrales; y, nanorobots bio-moleculares que realicen diagnósticos y suministren medicamentos.

Energía y medio ambiente: pilas de combustible; hidrólisis; catalizadores; celdas solares; aislamiento; filtración; súper condensadores; almacenamiento en

Espectroscopia operativa. Nuevas tecnologías y métodos para la caracterización espectroscópica de los materiales, mismos que experimentan una reacción simultáneamente con la medición de la actividad catalítica y la selectividad.²³

Ciencia y tecnologías fundamentales comunes para la nanotecnología y materiales: Fabricación y procesamiento, mediciones y análisis, ciencia teórica y computacional; tecnologías de medición y análisis de alta precisión para la caracterización de estructuras de materiales, propiedades, texturas y mecanismos de reacción química; fabricación de semiconductores basados en la nanomecánica, la fotónica y la bionanotecnología; avances en los sistemas de exposición a la radiación ultravioleta extrema (EUV) para superar los límites de la miniaturización del dispositivo; litografía por nanoimpresión, el autoensamblaje de nanoestructuras y la litografía sin máscara, como la litografía por haz de electrones de escritura directa

red; equipos de monitoreo (sensores); y, tratamiento de agua y purificación.

Infraestructura: fibras de carbono para compuestos estructurales; materiales resistentes a la tracción y fractura; dúctiles y elucídables de sus mecanismos; como los derivados del metal.

Eléctrico: próxima generación de semiconductores energéticos basados en carburo de silicio (SiC) y nitruro de galio (GaN); próxima generación de dispositivos de almacenamiento de mayor capacidad y desempeño; semiconductores; dispositivos electrónicos móviles; pantallas; gestión térmica; baterías; súper capacitores; y, pintura e integración con nanofotónicos.

Tecnologías de la información: dispositivos de Inteligencia Artificial para la adopción de otras tecnologías como el Internet of Things (IoT);²⁴ computación de alta velocidad mediante la mecánica cuántica y los sistemas cuánticos para la aplicación de la IA; marcos porosos (PCP, MOF y COF); y, compuestos

²³ De acuerdo con información del Centro de Investigación y Desarrollo de Estratégico de la Agencia de Ciencia y Tecnología de Japón.

²⁴ Sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la

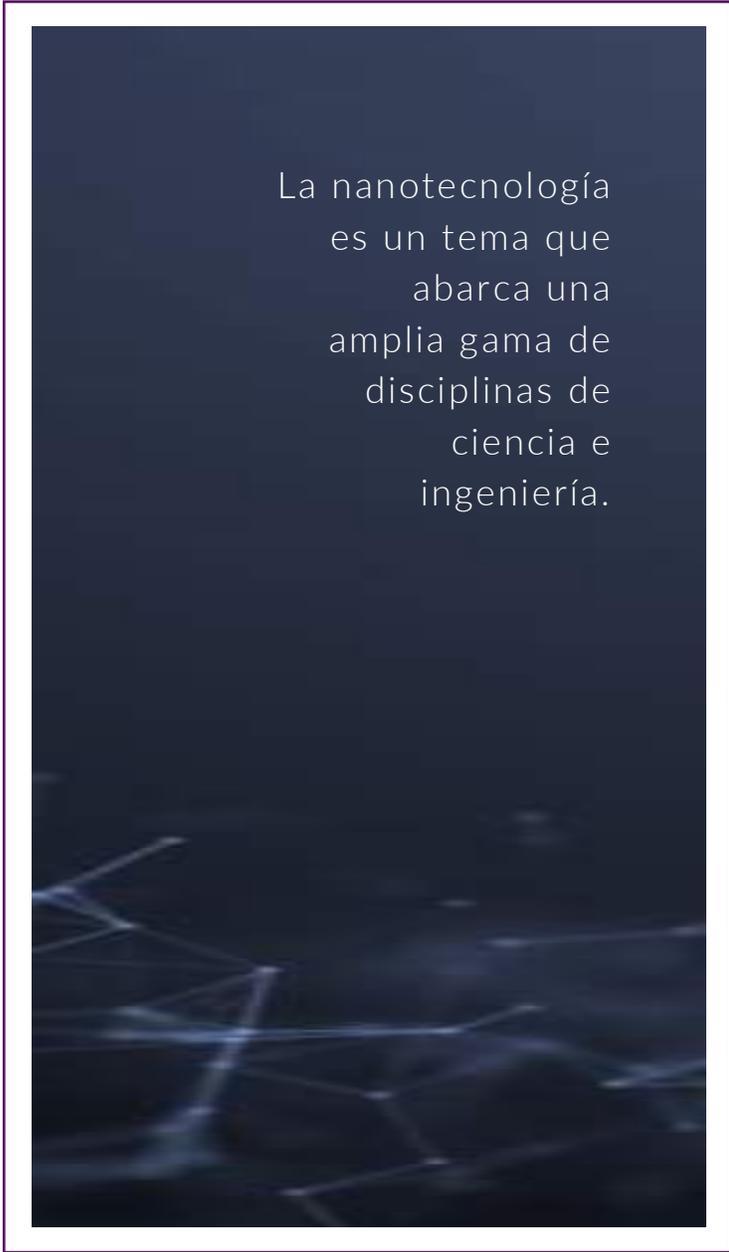
capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humanas.

con nanoespacios controlables que podrían usarse para campos de adsorción y desorción altamente selectivos; conductividad electrónica/iónica y reacciones específicas; y, la informática de materiales combina Información con la ciencia, bases de datos y aprendizaje automático.

Electrónica: aisladores topológicos para la próxima generación de dispositivos electrónicos que exhiben un estado metálico exterior único en su límite y suministran corriente no disipativa;²⁵ e, ingeniería de fonón²⁶ que desarrolla nuevos materiales y dispositivos que tratan el calor a nanoescala y controlan el calor en el origen.

Tendencias de acuerdo con el instituto del futuro²⁷

- ▶ Las empresas de nanotecnología proporcionarán la máxima convergencia de computadoras, redes y biotecnología, y crearán productos nunca imaginados.
- ▶ Los nanodispositivos, invisibles, inteligentes y potentes, se utilizarán en todas las industrias para redefinir los límites de lo que es posible.
- ▶ Los compiladores de alimentos de nanotecnología crearán comidas sobre pedido, de bajo costo y de calidad mediante el ensamblaje de los átomos en los alimentos.
- ▶ Los nanobots quirúrgicos operarán desde dentro del cuerpo humano.
- ▶ La nanobiología prolongará la vida, prevendrá enfermedades y aumentará la salud de las personas.
- ▶ Los humanos mejorados nano tendrán poderes físicos, intelectuales y de detección, superiores a otros humanos.
- ▶ La nanotecnología proporcionará una fuente de energía barata y disponible.
- ▶ Las nano-fábricas construirán productos a pedido en un proceso económico, flexible y rápido.
- ▶ La nanotecnología revolucionará la economía global y proporcionará herramientas eléctricas que producirán productos de alta tecnología con recursos de bajo costo y baja tecnología.
- ▶ La nanotecnología creará nuevas opciones que alterarán la evolución humana, plantearán problemas éticos dramáticos y desafiarán las normas sociales.

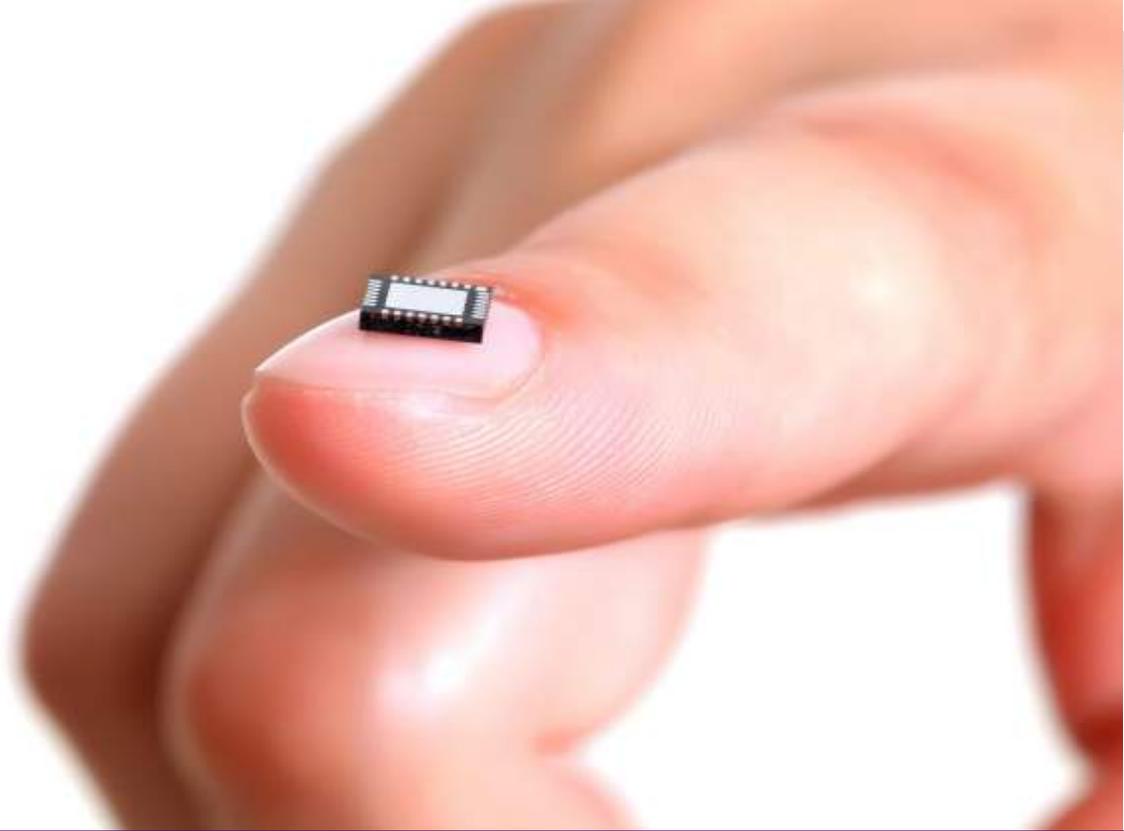


La nanotecnología
es un tema que
abarca una
amplia gama de
disciplinas de
ciencia e
ingeniería.

²⁵ Estructuras coherentes, auto-organizadas en sistemas alejados del equilibrio.

²⁶ Cuasipartícula o modo cuantizado vibratorio que se halla en redes cristalinas como la red atómica de un sólido.

²⁷ El instituto de los futuros globales, <http://www.globalfuturist.com/about-igf/top-ten-trends/top-ten-nanotech-trends-for-the-21st-century.html>



Una vez que se han identificado las principales tendencias por usos, aplicaciones y por sector, se puede observar que los sectores en el futuro en sus procesos harán que converjan otras tecnologías con la nanotecnología como un habilitador de innovación.

En resumen, las cinco formas que se describen a continuación en que la nanotecnología está asegurando el futuro es con sensores y nuevas técnicas de manufactura, cada día más pequeños, más complejos y eficientes en el uso de energía. Se abre la posibilidad de colocar estos sensores en infraestructura como puentes; aeronaves, plantas nucleares, entre otros y verificar en línea que todo esté operando correctamente.

La autoregeneración de estructuras a nanoescala cambiarán las propiedades de los recubrimientos y aditivos, que tendrán el potencial para que los materiales se auto-regeneren y las grietas que aparezcan puedan rellenarse por sí mismas. El Big Data se consolidará como un método para almacenar cientos

de terabytes de datos en un espacio cada vez menor. La energía será más eficiente con el uso de nanocables y nanotubos de carbono al crear baterías con mayor duración para autos eléctricos y por otra parte se podrá potenciar la mayor cantidad de luz solar para convertirla en electricidad a través de paneles solares, además de que nuevos materiales se encuentran en desarrollo y buscan producir energía del movimiento, de las variaciones del clima, de la glucosa y de otras fuentes. El doctor dentro del cuerpo permitirá que a través de sensores se monitoree la salud para capturar información del paciente, con el fin de personalizar el tratamiento, además de que nuevos nanodispositivos (electroceuticals) controlarán las funciones de los órganos humanos. Los nanorobots que buscarán erradicar las células cancerígenas, atacar virus, realizar cirugías microscópicas o cambiar la apariencia física del ser humano.

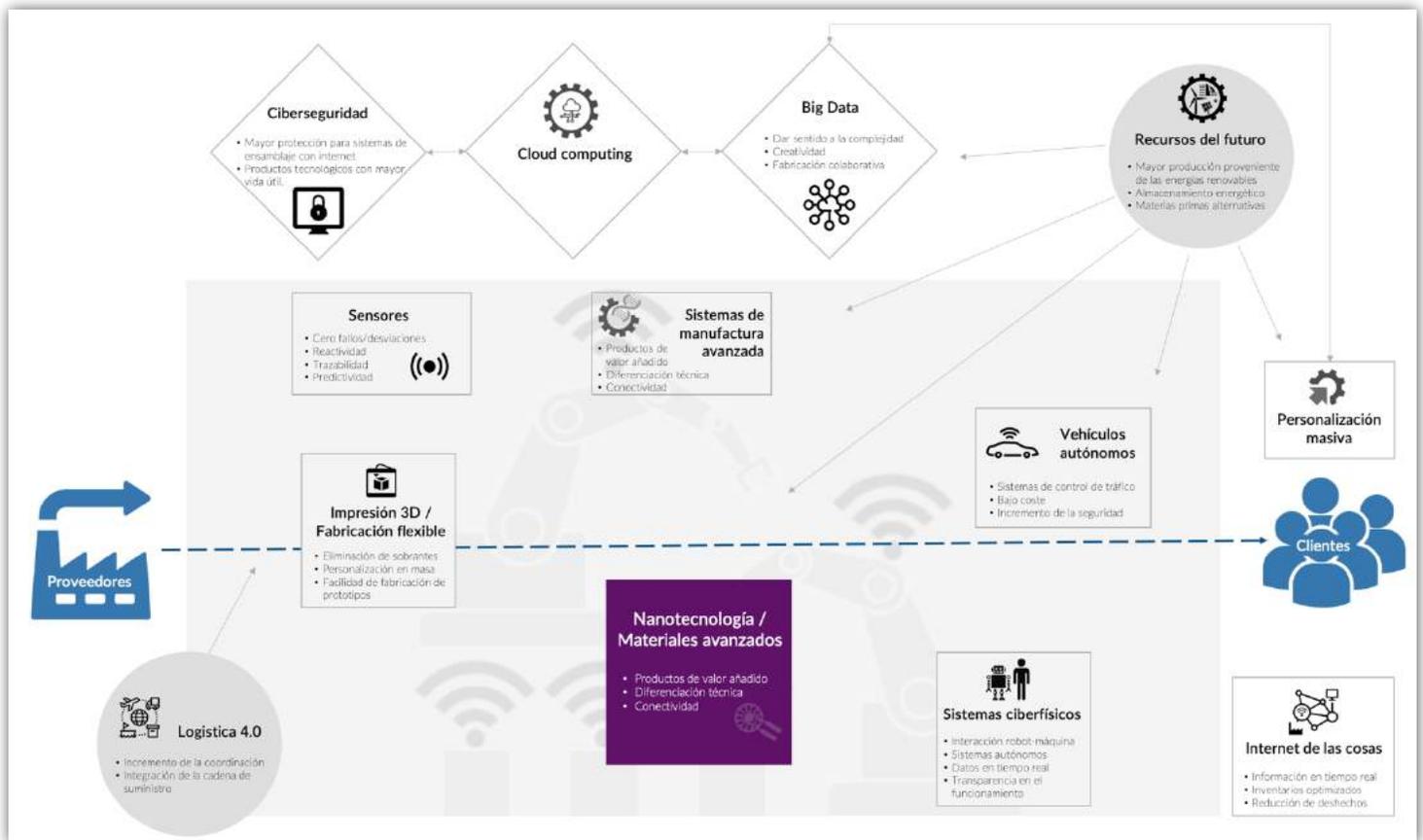
Estas tendencias continuarán respaldando a las industrias estratégicas para México tales como la aeronáutica, espacial, construcción o automotriz.

LA NANOTECNOLOGÍA COMO PARTE DE LA MANUFACTURA DEL FUTURO

La nanotecnología es reconocida dentro de la nueva arquitectura de las plantas del futuro, principalmente

porque los nanomateriales darán valor agregado con mayores capacidades técnicas y mejor conectividad.

Participación de la nanotecnología en la nueva arquitectura de las plantas del futuro



Fuente: ProMéxico con base en *Industry 4.0*, Roland Berger

LA NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

ANTECEDENTES

El desarrollo de la nanotecnología en México tiene su origen a finales de los 90s, cuando comenzaba el boom internacional en la materia y el CONACYT, organismo público encargado de promover y estimular el desarrollo de la ciencia y la tecnología en el país, dio soporte a 152 proyectos²⁸ relacionados con la nanotecnología. Para entonces, México inició su especialización en la materia.

A partir del año 2001, la nanotecnología fue considerada dentro del Plan Nacional de Desarrollo como un Programa Especial de Ciencia y Tecnología. Los primeros grupos de investigación fueron creados por la UNAM, el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) y del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). En 2006, fueron instaurados los dos primeros laboratorios nacionales de nanociencia y nanotecnología.

En 2008, la Secretaría de Economía realizó un primer estudio de la nanotecnología denominado “Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México”, documento que ha servido como referencia para la comunidad científica, académica e industrial. En ese mismo año, la nanotecnología despertó el interés de organismos públicos y privados y como resultado se crearon nuevos centros y redes de investigación enfocados en la materia.

En 2009, el CONACYT en colaboración con investigadores especializados de la UNAM creó la Red Nacional de Nanociencia y Nanotecnología (RNyN) con la finalidad de reunir el talento científico para generar diagnósticos situacionales que permitieran identificar los retos y las oportunidades de la nanotecnología en México, así como la formación y especialización del talento humano para el análisis y desarrollo de proyectos que pudieran vincularse con el sector privado a fin de atender las necesidades nacionales y abrir nuevos espacios de diálogo a nivel internacional.

Para 2011, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) llevó a cabo su primer levantamiento de información respecto del uso de la nanotecnología en la industria mexicana.

Aun cuando la nanotecnología no fue incluida en el Plan Nacional de Desarrollo durante el sexenio 2012-2018, los avances en la materia han tenido continuidad, y si bien México no ha seguido el mismo ritmo de crecimiento que otros países considerados líderes; el proceso podría acelerarse con un enfoque estratégico y esquemas amplios de colaboración que logren la articulación entre la industria, academia y gobierno, conocido como la triple hélice.



La política de la ciencia y tecnología en México se inserta en un constante proceso de transición hacia la economía del conocimiento

²⁸ Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología.

INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN

Cada vez es más latente la importancia de la I+D+i como factor clave para acelerar el crecimiento económico; elevar la competitividad internacional, crear sustentabilidad ambiental y mejorar el bienestar de una nación.²⁹

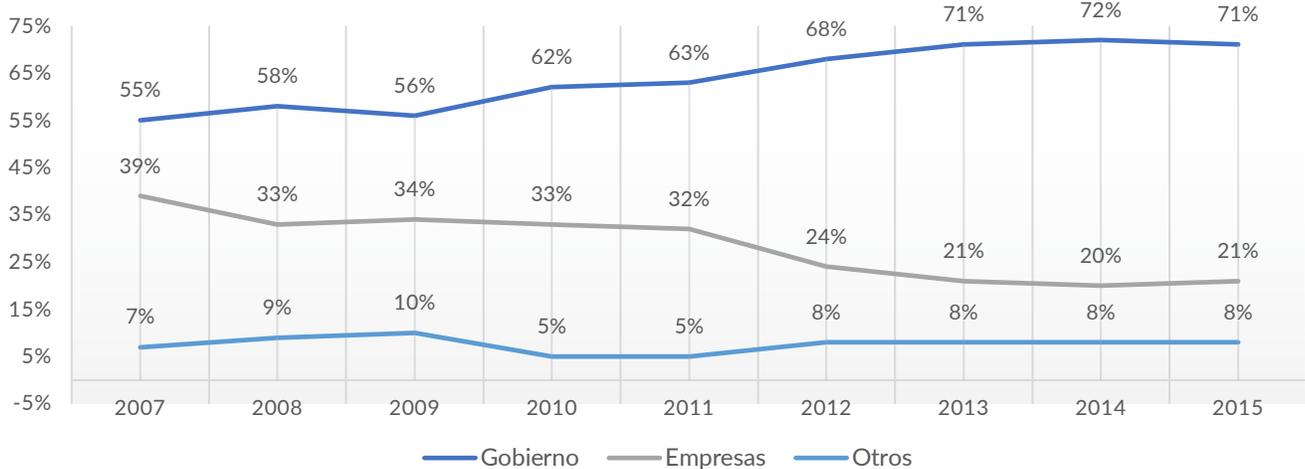
Los países más desarrollados han generado ventajas tecnológicas e industriales para fabricar nuevos productos, herramientas y dispositivos; ofrecer nuevos servicios; y, mejorar sus condiciones socioeconómicas, a través de su comercialización y la apertura a nuevos mercados. Los conocimientos originados por este rubro han evolucionado a la economía y la sociedad.

Por su parte, México mantiene una fuerte dependencia con el extranjero, los altos costos de la transferencia tecnológica y la importación de productos y servicios

tecnológicos impiden mantener alineado al país con los avances mundiales. Aun cuando la Ley de Ciencia y Tecnología en México establece que el monto anual que el estado-federación, entidades federativas y municipios destinen a la investigación científica y desarrollo debe ser tal que el gasto nacional en este rubro no puede ser menor al 1% del PIB nacional; en 2017, México destinó apenas el 0.4% del PIB y se estima que, para el cierre de 2018, la inversión alcance el 0.61%.

Si bien el sector privado en México aporta el 28% del gasto en I+D; todavía no se alcanzan los porcentajes de participación que tiene la iniciativa privada en países de mayor desarrollo y que incluso llegan a niveles del 60% del gasto total.³⁰

Gasto en inversión y desarrollo por sector de financiamiento, 2007-2015



Fuente: ProMéxico con datos de CONACYT.

El sector empresarial es un detonador clave para el desarrollo y crecimiento económico, ya que en la era tecnológica en la que se encuentra el mundo actual, es estratégico y altamente recomendable que aumenten su participación para impulsar la investigación aplicada y la innovación tecnológica en virtud de que, en el mediano y largo plazo, el nivel de competitividad empresarial y su inserción en los negocios globales dependerá del grado de adopción de nuevas tecnologías.

México enfrenta grandes retos respecto a su capacidad científica, tecnológica e innovadora, el patrón de especialización productiva y comercial está sustentado en un trabajo poco calificado, la proximidad geográfica con los Estados Unidos y la disponibilidad de recursos naturales con bajas restricciones ambientales. Este tipo de especialización, si bien ha permitido obtener divisas y una transición con bajo nivel de desempleo abierto, no

²⁹ Inversión para Ciencia, Tecnología e Innovación en México.

³⁰ CONACYT. Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, 2015.

garantiza el futuro ni permite obtener en lo inmediato un desarrollo sostenible.³¹

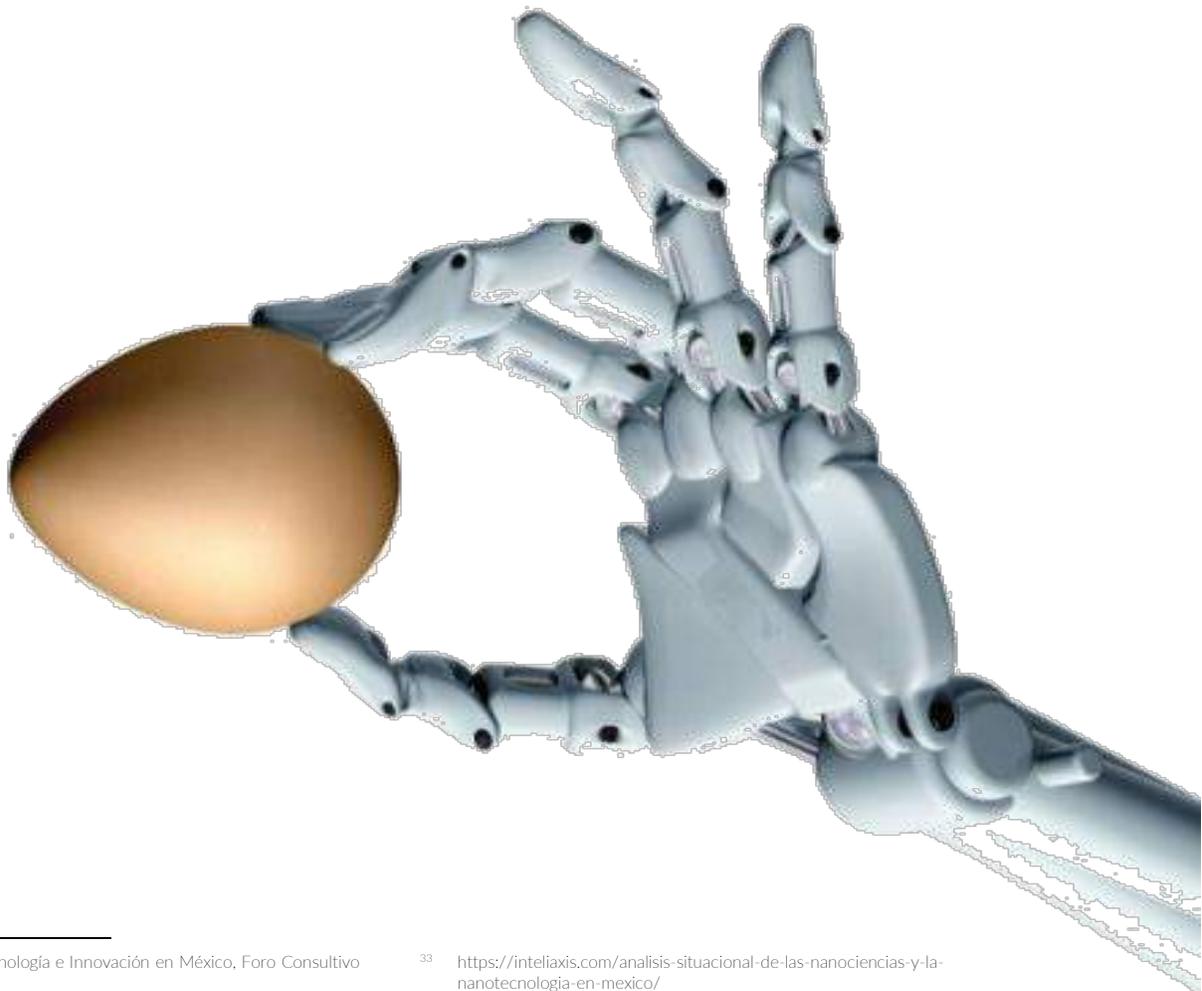
La falta de capacidades puede ser considerada una falla del mercado. Esto junto al hecho que los países en desarrollo tienen recursos financieros limitados, apunta a la necesidad de una intervención gubernamental estratégica, ya que hace más importante utilizarlos estratégicamente, en áreas con mayor impacto económico.

Derivado de las acciones para impulsar la nanotecnología que no fueron concluidas, se recomienda evaluar la posibilidad de crear una secretaría de ciencia y tecnología, tomando en consideración, las recomendaciones que han sido señaladas en diferentes documentos, como son “Hacia una Agenda Nacional en Ciencia, Tecnología e Innovación” del Foro Consultivo de la UNAM³², y las conclusiones del “Análisis Situacional de las

Nanociencias y Nanotecnología en México” de la Red NyN.³³

En varios países en desarrollo la fuente principal de inversión en nanotecnología proviene del sector gobierno. Sin embargo, en una visión más integradora, la inversión debería proceder de una estructura interactiva, sistémica y conciliadora entre instituciones, agentes y políticas gubernamentales. Su intención es que las capacidades del gobierno, la iniciativa privada, las universidades y los centros de investigación se conjunten para fortalecer el sistema.

La innovación es un motor importante del desarrollo y la transformación económica, que requiere de inversiones considerables de capital. La falta de financiamiento es claramente un obstáculo importante a la innovación en las empresas.



³¹ Art. Inversión para Ciencia, Tecnología e Innovación en México, Foro Consultivo Científico y Tecnológico.

³² http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/agenda_nal_cti_extenso_260912.pdf

³³ <https://inteliaxis.com/analisis-situacional-de-las-nanociencias-y-la-nanotecnologia-en-mexico/>

ECOSISTEMA NACIONAL

De acuerdo con datos recabados por ProMéxico, el ecosistema de la nanotecnología en México se conforma por 191 actores que se distribuyen de la siguiente manera: 70 empresas, 58 centros de investigación y desarrollo tanto públicos y privados, 55 instituciones educativas, 7 redes temáticas de investigación y 1 clúster especializado que cuenta con una incubadora de empresas en el ramo.

Estos actores se extienden a los largo de 26 entidades federativas y todos cuentan con programas y proyectos relacionados con la nanotecnología.

En las páginas siguientes se ilustrará la información más relevante por tipo de actor, a fin de conocer las actividades que el país tiene en esta materi



Para efectos de este estudio, el país se dividió en tres regiones (norte, centro y sur), de acuerdo con el nivel de actividad en nanotecnología, el cual se desarrolla de acuerdo con las industrias de cada zona.

Región norte

El norte del país concentra un importante número de empresas y organismos clave en el desarrollo de la nanotecnología del país, su posición geográfica favorece la colaboración internacional en proyectos, foros y diversas actividades científicas con países de Norteamérica, en donde se impulsa la transferencia de conocimiento científico y tecnológico. La región ha enfocado su investigación, desarrollo y aplicación en los materiales inorgánicos y polímeros, ciencia aplicada y servicios industriales que se ajustan a las necesidades de la industria local.

Nuevo León, además de ser la segunda entidad con el mayor número de actores, es sede del único clúster especializado en nanotecnología que se ocupa, entre otras cosas, de articular los esfuerzos en nanotecnología del sector gubernamental, industrial y académico de la región. Además, es sede del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), que cuenta con más de 30 centros de investigación de diferentes especialidades y una incubadora de negocios que consta de 6 plantas piloto para el desarrollo y la fabricación de nuevos productos con base nanotecnológica y un laboratorio de pruebas.

En Baja California se encuentra el Consorcio Tecnológico de Baja California (CTBC), una congregación de diferentes organismos, que impulsa la oferta de servicios tecnológicos certificados, investigación, desarrollo tecnológico e innovación, así como la formación de capital humano de alta especialidad, acorde a las necesidades de los sectores industriales estratégicos para el desarrollo de la región. En este se encuentra el Centro de Nanociencias y

Nanotecnología de la UNAM, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el Laboratorio Nacional de Nanofabricación (NanoFAB), equipado con tecnología de última generación para el desarrollo y fabricación de micro y nanodispositivos en su correspondiente escala, provisto de un cuarto limpio de clase 1000.

Chihuahua es sede del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA) que alberga el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (Nanotech), uno de los más grandes de América Latina, que favorece la ampliación de las capacidades de síntesis, evaluación y caracterización de los materiales metálicos y orgánicos.

Sonora alberga el Centro de Investigación y Química Aplicada (CIQA) y a dos laboratorios nacionales de reciente creación: el Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos (LNMG) y el Laboratorio Nacional en Innovación y Desarrollo de Materiales Ligeros para la Industria Automotriz, los cuales cuentan con líneas de trabajo relacionadas con la nanotecnología en plásticos y materiales avanzados. También cuenta con el Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD), que en colaboración con el Centro de Investigación científica de Yucatán encabezan la Red de Bio-Nanotecnología.

Coahuila, Tamaulipas y Baja California Sur, también cuentan con universidades y laboratorios especializados en la materia, así como algunas empresas transnacionales que trabajan con nanotecnología.

Región centro

Este rango geográfico incluye a varios de los precursores y principales actores de la nanotecnología del país, así como las universidades más destacadas y diversos centros de investigación especializados.

La Ciudad de México es la entidad federativa que registra el mayor número de actores que trabajan con nanotecnología y es además sede de universidades como el IPN, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y la UNAM, esta última de donde se deriva la mayor cantidad de científicos y redes de investigación involucradas con esta tecnología. También, es hogar de las oficinas centrales del CONACYT, y en general, es matriz de muchos organismos del gobierno federal que impulsan a la nanotecnología desde diferentes ángulos a través de leyes, iniciativas y programas nacionales.

La fuerte presencia de la academia en esta región impacta directamente en las líneas estratégicas de desarrollo, dando prioridad a los sectores en el ámbito social y ambiental; no obstante, los intereses de la región tienen una mayor amplitud.

El Estado de México es la tercera entidad federativa con mayor número de empresas de nanotecnología en el país, ahí se establecen empresas de casi todos los sectores industriales, diferentes campus tecnológicos y otros organismos estatales que influyen en el desarrollo de la nanotecnología de la región.

En Jalisco se encuentra el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), que realiza actividades de investigación,

Región sur

La región sur del país tiene la menor actividad de nanotecnología, los desarrollos y actores involucrados con la nanotecnología se concentran en Yucatán, sede de la unidad Mérida del CINVESTAV, entidad que mantiene un importante nivel en la calidad y productividad científica, a través de múltiples proyectos y líneas de investigación.

desarrollo tecnológico e innovación; ofrece servicios tecnológicos y formación de capital humano de alto nivel; y, genera productos, procesos y servicios que sirven para impulsar el desarrollo de la nanotecnología y nanomateriales que son incluidos en diferentes productos de terapia avanzada, medicamentos y alimentos.

En San Luis Potosí está ubicado el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), sede del Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (Linan), un recinto abierto a la industria, academia y demás organismos de la región a favor de la investigación y la tecnología enfocada a la nanotecnología en México.

Veracruz tiene el Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología (MICRONA), una dependencia de la Universidad Veracruzana, cuyas actividades están relacionadas con nanopelículas delgadas y bio-nanomateriales.

Querétaro es sede del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), creado con el objetivo de desarrollar investigación y tecnología multidisciplinaria y de vanguardia en el área de la ciencia e ingeniería de materiales, sus especialidades son los nanomateriales, los nanosistemas, nanodispositivos y biotecnología.

En estados como Puebla, Guanajuato y Aguascalientes también se ubican empresas e instituciones educativas que trabajan con nanotecnología.

Morelos desataca con más de 5 empresas y 3 instituciones de educación, mientras Tabasco Chiapas y Guerrero también cuentan con algunas empresas y servicios educativos orientados a la nanotecnología.

Por otra parte, la contribución a la nanotecnología por parte de los miembros de la triple hélice es:

Gobierno

En México, la institución responsable de impulsar y fortalecer el desarrollo científico y la modernización tecnológica es el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien tiene a su cargo la gestión de los recursos para proyectos relacionados con la nanotecnología, así como para el fortalecimiento de su infraestructura.

La nanotecnología ha sido incorporada al nuevo modelo de consorcios, agrupando a los centros públicos de investigación relacionados con la materia para generar infraestructura y capacidades que contribuyan al crecimiento de los sectores considerados como clave

para lograr una mayor efectividad en el sistema científico y tecnológico del país.

Si bien no se tienen plenamente identificados, también existen programas a nivel estatal que buscan impulsar sus principales industrias y trabajan en coordinación con la academia para desarrollar proyectos de innovación que beneficien a la industria y por ende a la economía nacional. Asimismo, inversiones federales y estatales que muestran la intención por promover estas tecnologías dirigidas principalmente a redes de investigación, laboratorios especializados y parques industriales.

Academia

El estudio y desarrollo de la nanotecnología exige de alta especialización para la formación de científicos y tecnólogos, parte de los conocimientos necesarios involucran diferentes ciencias como la física y la química, además de otras tecnologías que convergen, tal como la biotecnología y las tecnologías de la Información, por mencionar algunos ejemplos.

Muchos de los países líderes han desarrollado estrategias nacionales para incrementar la formación del capital humano especializado, así como la infraestructura para la investigación científica; no obstante, países emergentes como México realizan esfuerzos que involucran la creación de redes de conocimiento y cooperación internacional para reducir la brecha científica y tecnológica que los separa de los más desarrollados.³⁴

En México existen más de 40 instituciones de servicios educativos³⁵ que ofrecen 24 diferentes programas de estudios relacionados con la nanotecnología divididos en: 4 licenciaturas, 5 ingenierías, 2 Técnico Superior Universitario (TSU), 7 maestrías y 6 posgrados.

Asimismo, más de 2 mil investigadores especializados en la nanotecnología colaboran con alguna de las redes temáticas nacionales e internacionales.

En el ciclo escolar 2017-2018, la cantidad de egresados de licenciaturas relacionadas con la nanotecnología ascendió a 744, mostrando un incremento aproximado del 28% con relación al ciclo anterior. La distribución por género se compone por 61% hombres y 39% mujeres al cierre de 2018, cifra que representa el 17.4% del total de matriculados en los diferentes programas a nivel licenciatura de los programas con nanotecnología.

Con relación a los estudios posteriores de especialización, se tiene el registro de 376 alumnos inscritos, de los cuales 35 egresaron este año: 80% de maestría y 20% de doctorados, con una distribución por género con 57% hombres y 43% mujeres, de un total de 376 matriculados en los posgrados de esta materia.

Aun cuando los programas previamente señalados cuentan con la palabra nanotecnología implícita en el nombre, la materia se incluye dentro de otros programas como la química y los materiales avanzados.

³⁴ Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México

³⁵ Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES)

Distribución geográfica de los instituciones académicas que incluyen programas de nanotecnología.



Estado	Nº de actores
Ciudad de México	8
Hidalgo	5
Estado de México	5
Nuevo León	4
Puebla	4
San Luis Potosí	3
Chihuahua	3
Michoacán	3
Morelos	3
Querétaro	2
Guanajuato	2
Veracruz	2
Baja California	2
Jalisco	2
Chiapas	1
Coahuila	1
Tamaulipas	1
Sonora	1
Tabasco	1
Total general	55

Fuente: ProMéxico

A continuación, se muestran las instituciones académicas que imparten algún programa de nanotecnología:

Instituciones educativas identificadas que trabajan con nanotecnología

Entidad federativa	Nombre	Sitio internet
Baja California	FIAD - Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño	http://fiad.ens.uabc.mx/
	TECTIJUANA - Instituto Tecnológico Tijuana	http://tectijuana.edu.mx/
Chiapas	UPTAP - Universidad Politécnica de Tapachula	http://uptapachula.edu.mx/page/
Chihuahua	UACJ - Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	http://www.uacj.mx/Paginas/Default.aspx
	UTCJ - Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez	https://www.utcj.edu.mx/
	UTJR - Universidad Tecnológica Junta de los Ríos	http://www.utchsur.edu.mx/
Ciudad de México	ESIQIE - Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas	https://www.esiqie.ipn.mx/
	IF-UNAM - Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México	http://www.fisica.unam.mx/
	IPN - Instituto Politécnico Nacional	http://www.ipn.mx/Paginas/inicio.aspx
	SEPI - Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional	http://www.sepi.upibi.ipn.mx/Paginas/Inicio.aspx
	SMF DINANO - Sociedad Mexicana de Física, División de Nanociencias	http://smfdinano.mex.tl/
	UAM - Universidad Autónoma Metropolitana	http://www.uam.mx/
	IBERO - Universidad Iberoamericana	http://www.ibero.mx/
Coahuila	UNAM - Universidad Nacional Autónoma de México	https://www.unam.mx/
	UTC - Universidad Tecnológica de Coahuila	http://www.utc.edu.mx/index.php/conoce-utc/como-llegar-a-la-universidad-tecnologica-de-coahuila

Entidad federativa	Nombre	Sitio internet
Estado de México	ITESM-Estado de México - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México	https://tec.mx/es/estado-de-mexico
	UPVM - Universidad Politécnica del Valle de México	http://upvm.edomex.gob.mx/
	UTTECAMAC - Universidad Tecnológica de Tecámac	https://www.uttecamac.edu.mx/
	N/A - Universidad Tecnológica de Zinacantepec	http://utzinacantepec.edomex.gob.mx/
	UTFV - Universidad Tecnológica Fidel Velázquez	http://utfv.edomex.gob.mx/
Guanajuato	GTP - Guanajuato Tecno parque	http://www.gtp.mx
	UG - Universidad de Guanajuato	http://www.ugto.mx/
Hidalgo	UAEH - Escuela Superior de Apan	https://www.uaeh.edu.mx
	UAEH - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	https://www.uaeh.edu.mx/
	UTTT - Universidad Tecnológica de Tula -Tepeji	http://www.utt.edu.mx/
	Utec - Universidad Tecnológica de Tulancingo	http://www.utectulancingo.edu.mx/
Jalisco	CUVALLES - Centro Universitario de los Valles	http://cuvalles.udg.mx/
	CUTONALA - Centro Universitario de Tonalá	http://www.cutonala.udg.mx/
Michoacán	ITCH - Instituto Tecnológico Superior Ciudad Hidalgo	http://www.itsch.edu.mx/
	UCEMICH - Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo	https://ucienegam.mx/
	UMSNH - Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	http://www.umich.mx/
Morelos	UAEM - Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos	https://www.uaem.mx/
	UNAM - Morelos - Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos	http://www.morelos.unam.mx
	UTEZ - Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos	http://www.utez.edu.mx/
Nuevo León	ITESM-Monterrey - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey	https://tec.mx/es
	PIIT - Parque de Investigación e Innovación Tecnológica	http://piit.com.mx
	UANL - Universidad Autónoma de Nuevo León	http://www.uanl.mx/
	UTE - Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo	https://www.ute.edu.mx
Puebla	NANO-BUAP - Centro de Nanotecnología de la BUAP	http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/wb/rnetm/centro_de_nanotecnologia_nanobuap
	UDLAP - Fundación Universidad de las Américas Puebla	https://www.udlap.mx/web/
	ITESM-Puebla - Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Puebla	http://maestriasydiplomadostec.mx/posgrados/maestria-en-nanotecnologia
	UDLAP - Universidad de las Américas Puebla	http://www.udlap.mx/ofertaacademica/Default.aspx?cveCarrera=LNM
Querétaro	UAQ - Universidad Autónoma de Querétaro	http://www.uaq.mx/
	UTEQ - Universidad Tecnológica de Querétaro	http://www.uteq.edu.mx/
San Luis Potosí	ITESM-SLP - Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus SLP	http://www.itesm.mx
	UASLP - Universidad Autónoma de San Luis Potosí	http://www.uaslp.mx/
	UPSLP - Universidad Politécnica de San Luis Potosí	http://www.upslp.edu.mx
Sinaloa	UPSIN - Universidad Politécnica de Sinaloa	http://www.upsin.edu.mx/programas_academicos/carrera/nanotecnologia
Sonora	UNISON - Universidad de Sonora	https://www.unison.mx/
Tabasco	UJAT - División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez	http://www.ujat.mx/damj
Tamaulipas	N/A - Universidad Tecnológica de Altamira	http://www.utaltamira.edu.mx/
Veracruz°	ITSPOZARICA - Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica	http://www.itspozarica.edu.mx/
	UTCv - Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz	http://www.utcv.edu.mx/
Yucatán	UAY - Universidad Autónoma de Yucatán	http://www.uady.mx/

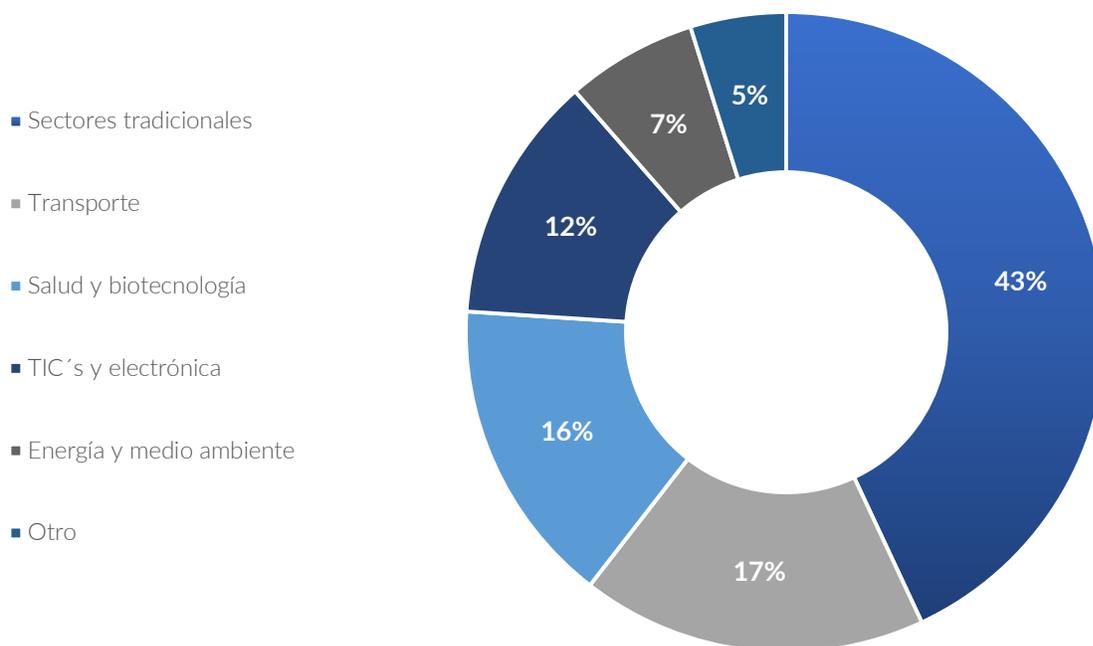
Fuente: ProMéxico

Industria

El registro de información de nanotecnología en México es relativamente reciente; el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizó una encuesta³⁶ en el año 2011 sobre empresas del sector productivo que hicieron uso de la nanotecnología, gracias a la cual se identificaron un total de 188, en los sectores que se muestran en la siguiente tabla. De acuerdo con su

actividad económica se obtuvo además que el 44% correspondían a sustancias y productos químicos; 13% maquinaria y equipo; 10% productos de informática, electrónica y óptica; 10% otros productos minerales no metálicos; 8% productos farmacéuticos; y, 8% para otras divisiones con menos de cuatro registros.

Empresas del sector productivo que aplicaron nanotecnología en sus productos.
(2010-2011)



Fuente: ProMéxico con datos de INEGI.

³⁶ INEGI:
http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/establecimientos/otras/esidet_mbn/graficas/esidet_mbn.htm

Por otro lado, la OCDE³⁷ mostró un escenario nacional de 80 empresas con 20 o más empleados, que utilizan la nanotecnología para producir bienes o servicios y/o para realizar investigación y desarrollo en el tema, de nanotecnología; no obstante, a la fecha, no ha sido posible conocer datos más específicos sobre quienes comercializan, utilizan o producen nanotecnología; es decir, no se cuenta con una fuente concluyente de información pública sobre el rol y las actividades de las empresas de nanotecnología en México.

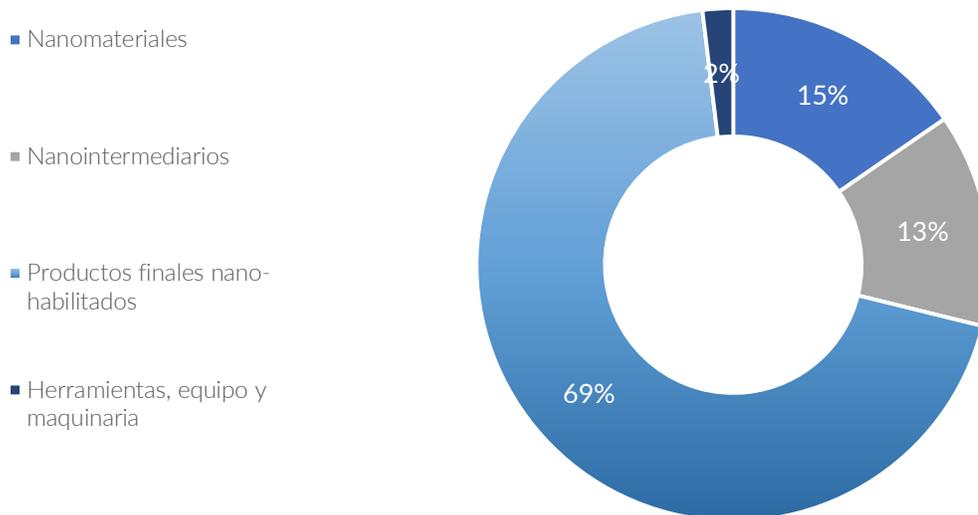
El esfuerzo más cercano para determinar las empresas que existen en país, que hacen y dónde se ubican, deriva de una investigación académica realizada por la red internacional RELANS y en dónde participaron algunos actores nacionales. El documento está dividido en dos ediciones y se titula: “Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario”, en este se muestra un universo de 139 empresas, su ubicación geográfica, así como los sectores en los que participa. Si bien, el contenido menciona los nombres de algunas de las

empresas que participaron, no integra un listado completo para su identificación o consulta.

En contraste, un sitio de internet creado por CINVESTAV³⁸ a partir de la investigación antes mencionada, muestra la información de contacto de 52 empresas de nanotecnología, su entidad federativa y su participación en la cadena de valor, como lo muestra la siguiente tabla en la cual es posible observar que México está enfocado en nanomateriales, al igual que el resto del mundo; hecho que tiene un sentido económico en virtud de que como lo mencionamos anteriormente, 80% del mercado de nanotecnología, está enfocado en este tipo de tecnología.

Hasta ahora no existe alguna fuente de consulta pública que permita identificar a todas de las empresas de nanotecnología situadas en el territorio nacional; no obstante, para efectos de este estudio y como parte del mapeo nacional, ProMéxico recopiló la información de contacto de 78 empresas que fabrican, utilizan o comercializan productos y servicios en los diferentes eslabones de la cadena de valor de la nanotecnología.

Productos con nanotecnología (Cadena de valor)



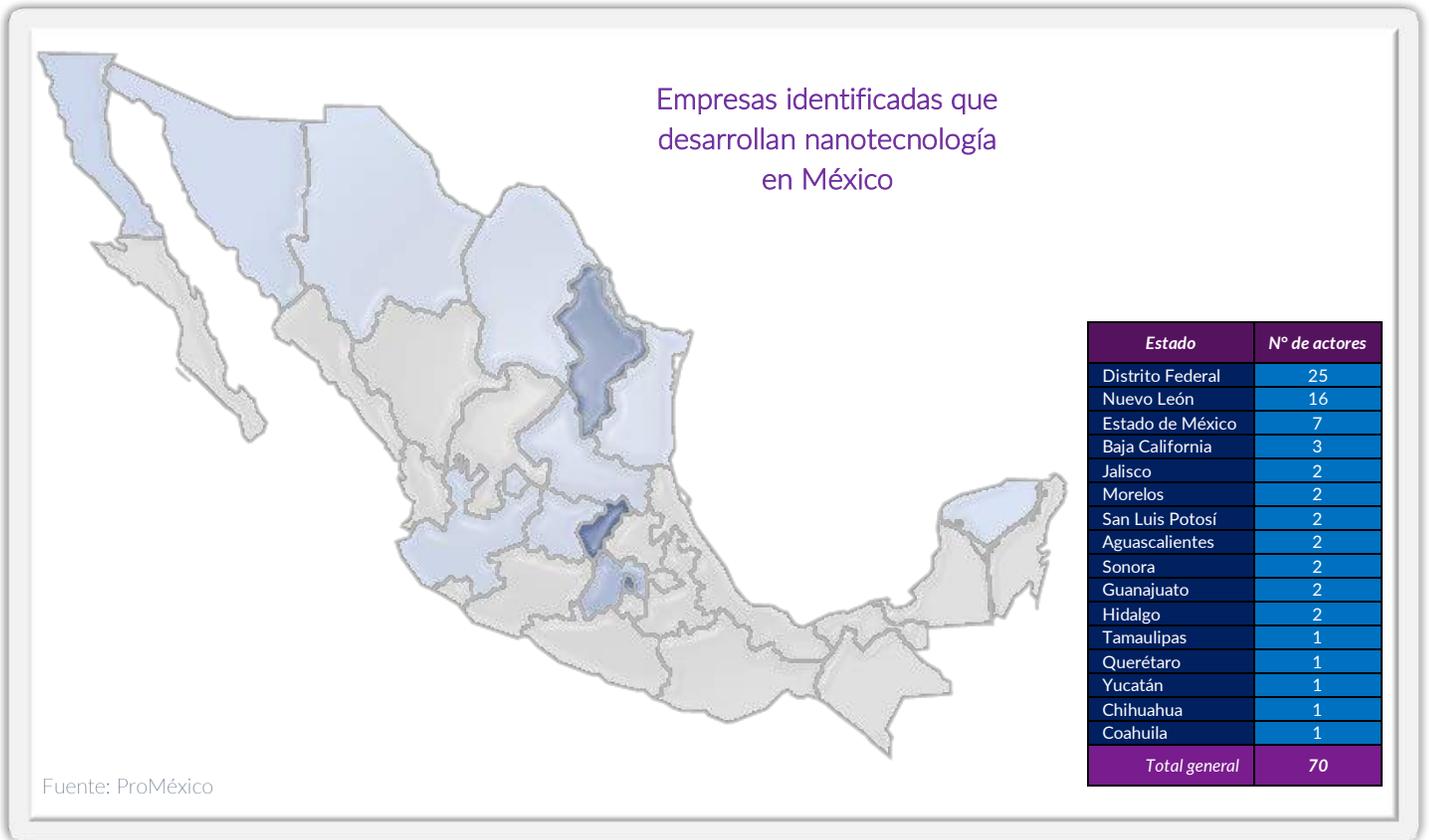
Fuente: ProMéxico con datos de CINVESTAV.

³⁷ OCDE: <http://www.oecd.org/sti/nanotechnology-indicators.htm>

³⁸ CINVESTAV: Inventario de empresas de nanotecnología en México (Foladori, Záyago) <http://micrositios.cinvestav.mx/nano/>

La información de las empresas fue incluida en la matriz de actores, dónde además de los sectores de enfoque,

se determinan los tipos de actividades que realizan, así como sus productos y servicios.



Empresas seleccionadas que trabajan con nanotecnología

Entidad federativa	Nombre	Lugar en la cadena de valor de la nanotecnología	Producto Nano
Aguascalientes	Frucsomex	Productos finales nanohabilitados	Complementos alimenticios
	NanoResonance Technology	Productos finales nanohabilitados	Plantas para el tratamiento de agua
Baja California	Bionag	Productos finales nanohabilitados	Medicamento base plata
	Foxconn Baja California	Productos finales nanohabilitados	Nems/Mems
	Vector Vita	Nanomateriales	Metálicas
Chihuahua	Interceramic	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
Ciudad de México	ACS Medio Ambiente	Productos finales nanohabilitados	Filtros industriales
	AIG Sinergia y Representaciones	Nanomateriales	Metálicas
	Avon	Productos finales nanohabilitados	Cosméticos
	Beiersdorf	Productos finales nanohabilitados	Cosméticos
	Bridgestone México	Productos finales nanohabilitados	Neumáticos
	Carl Zeiss AG	Productos finales nanohabilitados	Semiconductores
	Comex	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Farbitek	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Heltec	Productos finales nanohabilitados	Filtros industriales
	Intel México	Productos finales nanohabilitados	Nems/Mems
	Kuo	Nanomateriales	Polímeros
	Mabe	Productos finales nanohabilitados	Línea blanca base plata
	Micra nanotecnología	Nanoherramientas	Equipos de microscopia electrónica de barrido
	Motorola México	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Nanopharmacia Diagnóstica	Productos finales nanohabilitados	Análisis diagnósticos oncológicos
	Nanotecnología México	Nanomateriales	Metálicas
	Neopharma México	Nanointermediarios	Farmacéuticos
	Nestlé México	Productos finales nanohabilitados	Filtros industriales
	Owens Corning	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Plant Health Care de México	Productos finales nanohabilitados	Fertilizante
	Powercem México	Productos finales nanohabilitados	Cemento
	Sadosa	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Samsung México	Productos finales nanohabilitados	Nanocristales
	SONY de México	Productos finales nanohabilitados	Electrónica
	Vamsa	Nanoherramientas	Equipo analítico
Coahuila	Nanbios	Nanointermediarios	Nanoencapsulados
Estado de México	Farmaquimia	Nanointermediarios	Químicos para la salud, cosmética y electrónica
	Gresmex	Productos finales nanohabilitados	Cosméticos
	Kaltex	Nanointermediarios	Fibra textil

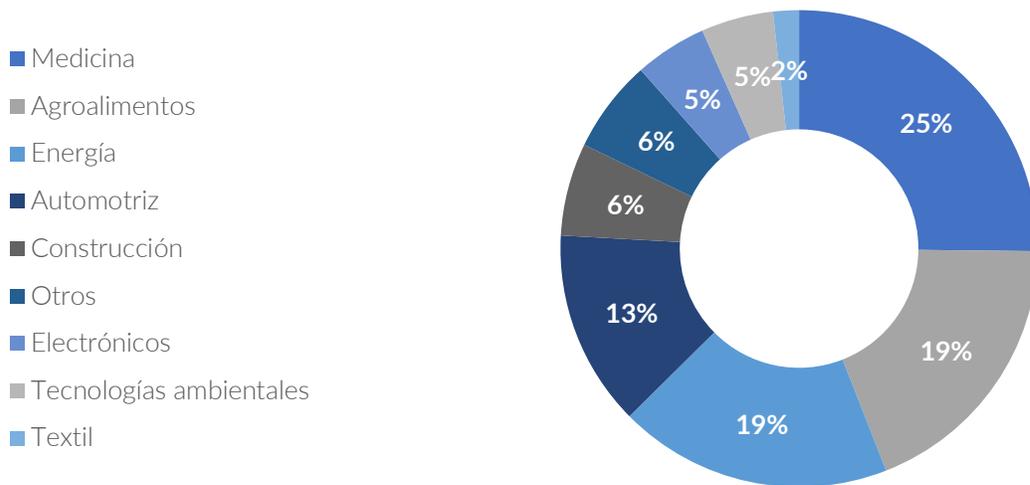
Entidad federativa	Nombre	Lugar en la cadena de valor de la nanotecnología	Producto Nano
Estado de México	Máxima -Adhesivos	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Nanometrix	Nanoherramientas	Equipo e instrumentos analíticos y científicos
	Nanonutrition	Nanointermediarios	Nutracéutico
	NANOX Bardahl	Productos finales nanohabilitados	Aceites y aditivos
Guanajuato	Lotto Bio Nano Laboratories	Nanomateriales	Metálicas
	Wurth Elektronik	Productos finales nanohabilitados	Componentes eléctricos
Hidalgo	Nanocron	Nanomateriales	Metálicas
	Ten-Pac	Productos finales nanohabilitados	Textiles
Jalisco	Carbotecnia	Productos finales nanohabilitados	Filtros industriales
	Kurago Biotek	Productos finales nanohabilitados	Químicos para salud y nutrición
Morelos	Laboratorios de Especialidades Genómicas	Productos finales nanohabilitados	Química genética
	Permanere et Renovare Salutis	Productos finales nanohabilitados	Farmacéuticos y productos veterinarios
Nuevo León	Aqua-Pro	Productos finales nanohabilitados	Filtros industriales
	Cemex Central	Productos finales nanohabilitados	Cemento
	Centro de Desarrollo de Tecnología de Sigma Alimentos	Productos finales nanohabilitados	Envases para alimentos
	Global Proventus	Productos finales nanohabilitados	Filtros industriales
	Industrias Vago De México	Productos finales nanohabilitados	Sellos para piezas mecánicas
	Kemcare de México	Productos finales nanohabilitados	Aceites y emulsiones
	La Cantera Proyectos y Arquitectura	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Lubricantes de América	Productos finales nanohabilitados	Sellos para piezas mecánicas
	Nanomateriales	Nanomateriales	Carbón, polímeros, minerales no metálicos, metales, dendrímeros.
	Nemak	Productos finales nanohabilitados	Metalmecánica
	Sanitarios Lamosa	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Scanpaint	Productos finales nanohabilitados	Evases y embalajes para alimentos
	Sigma Alimentos	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Viakable	Productos finales nanohabilitados	Conductores eléctricos
	Vitro	Productos finales nanohabilitados	Recubrimientos
	Whirlpool México	Productos finales nanohabilitados	Línea blanca base plata
Querétaro	Provista	Nanointermediarios	Polímeros
San Luis Potosí	Datiotec	Productos finales nanohabilitados	Nanosatélites
	Viretec gestión y desarrollo	Productos finales nanohabilitados	Servicios de nanotecnología
Sonora	RD Research & Technology	Productos finales nanohabilitados	Nems/Mems
	Rubio Pharma y Asociados	Nanointermediarios	Nutracéutico
Tamaulipas	Mesil	Productos finales nanohabilitados	Desinfectantes
Yucatán	Oficina Mexicana de Transferencia de Tecnología Innovación y Conocimiento	Productos finales nanohabilitados	Innovación en biotecnología, salud e IoT

Fuente: ProMéxico

La Ciudad de México concentra el mayor número de empresas de nanotecnología en el país, en esta localidad la academia tiene una influencia importante sobre las líneas de investigación y desarrollo; la medicina, la energía, las tecnologías ambientales, agro-alimentos y

construcción son las principales industrias. Le siguen Nuevo León y el Estado de México, en ambas entidades la nanotecnología impacta a la mayoría de los sectores industriales como parte de las áreas de manufactura y materiales avanzados.

Principales industrias con desarrollo de productos y servicios con nanotecnología



Fuente: ProMéxico

La nanotecnología requiere de la participación de la triple hélice toda vez que para que haya investigación y desarrollo, es necesaria la inversión por parte de la industria; para formar talento especializado en la materia, la responsable es la academia y para que existan políticas públicas y su implementación se requiere del gobierno. Con esto como base se han formado redes temáticas que fortalecen al ecosistema y se ha identificado también la existencia de I+D+i en donde distintos actores impulsan la evolución de la nano en México.

Centros de I+D+i

Como resultado de la investigación realizada por ProMéxico, fueron identificados 58 centros de investigación con recursos de origen público y privado, que incluyen dentro de sus líneas de I+D+i a la nanotecnología los cuales se localizan en 20 entidades

federativas, Nuevo León concentra el mayor número de centros seguido por Querétaro y Ciudad de México. Los sectores de mayor enfoque son: servicios científicos y técnicos, electrónica, agricultura y tecnologías de la información.



62% de los Centros de I+D+i en México que se relacionan con nanotecnología, se ubican en 4 entidades federativas

A continuación, se muestra un directorio de los Centros de I+D+i que fueron identificados según su relación con la nanotecnología:

Centros de I+D+i seleccionados que trabajan con nanotecnología

Entidad federativa	Nombre	Sector relacionado	Sitio internet
Baja California	CICESE - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad Baja California	Tecnologías de la información	http://www.cicese.edu.mx
	CNyN - Centro de Nanociencias y Nanotecnología	Aeroespacial	https://www.cnyunam.mx/
Baja California Sur	CIBNOR - Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste	Agricultura	http://www.cibnor.mx
Chihuahua	CICTA - Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada	Dispositivos médicos	http://www.uacj.mx/IIT/CICTA/Paginas/default.aspx
	CIMAV - Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Unidad Chihuahua	Energías renovables	http://www.cimav.edu.mx
Ciudad de México	CICATA - Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria	Servicios científicos y técnicos	http://www.cicata.ipn.mx/Paginas/Inicio.aspx
	CNMN - Centro de Nanociencias y Micro Nanotecnologías	Servicios científicos y técnicos	http://www.nanocentro.ipn.mx
	ICAT - Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología	Tecnologías de la información	http://www.icat.unam.mx
	IFUNAM - Instituto de Física	Servicios científicos y técnicos	http://www.fisica.unam.mx/departamentos.php
	IIM - Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Ciudad de México	Maquinaria y equipo	http://www.iim.unam.mx
	INEEL - Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Oficina de Enlace	Electrónica	https://www.gob.mx/ineel
	SEPI de ESIME - Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Culhuacán	Tecnologías de la información	http://www.posgrados.esimecu.ipn.mx
Coahuila	CIQA - Centro de Investigación en Química Aplicada, Unidad Coahuila	Agricultura	http://www.ciqa.mx
Estado de México	ININ - Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	Generación de energía eléctrica	http://www.gob.mx/inin
Guanajuato	CIATEC - Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, Unidad Guanajuato	Hidrocarburos	http://www.ciatec.mx
	CIO - Centro de Investigaciones en Óptica	Electrónica	http://www.cio.mx
Jalisco	CIATEJ - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sede Guadalajara	Agricultura	https://ciatej.mx/
	CIATEJ - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sede Zapopan	Agricultura	https://ciatej.mx/sedes/7/zapopan
Michoacán	IFM - Instituto de Física y Matemáticas	Servicios científicos y técnicos	http://www.ifm.umich.mx/ifm
	IIM - Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia	Maquinaria y equipo	http://www.iim.unam.mx/index.php/investigacion/departamentos
	IIQB - Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas	Química	http://www.iiqb.umich.mx
Morelos	CInC - Centro de Investigación en Ciencias	Servicios científicos y técnicos	https://www.cinc.uaem.mx/
	CIICAp - Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Servicios científicos y técnicos	http://www2.ciicap.uaem.mx/index.html
	INEEL - Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias	Electrónica	https://www.gob.mx/ineel
Nayarit	CICESE - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad Nayarit	Pesca	http://ut3.cicese.mx/
	CICESE-UT3 - Unidad de Transferencia Tecnológica Tepic	Servicios científicos y técnicos	http://idi.cicese.mx

Entidad federativa	Nombre	Sector relacionado	Sitio internet
Nuevo León	CB FEMSA - Centro de Biotecnología Femsa	Alimentos y bebidas	https://tec.mx/es/noticias/monterrey/investigacion/centro-de-biotecnologia-femsa-hacia-una-innovacion-tecnologica
	CIDESI - Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Unidad Nuevo León	Tecnologías de la información	http://www.cidesi.com
	CIIDIT - Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo en Ingeniería y Tecnología	Aeroespacial	http://www.ciidit.uanl.mx/director
	CIMAV - Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Unidad Nuevo León	Energías renovables	http://mty.cimav.edu.mx/
	CIATEJ - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sede Apodaca	Agricultura	https://ciatej.mx/sedes/4/noreste
	CETIV - Centro de Tecnología e Investigación Viakable	Electrónica	http://www.viakable.com/cetiv.html
	CEPCE - Centro para la Productividad y Competitividad Empresarial	Tecnologías de la información	http://www.udem.edu.mx/Esp/Investigacion-y-Desarrollo/Centro-para-la-Productividad-y-Competitividad-Empresarial/Pages/servicios.aspx
	CIBYN - Centro de Investigación en Biotecnología y Nanotecnología	Farmacéutica	http://www.fcq.uanl.mx/cibyn/
	i2t2 - Instituto de Innovación y Transferencia Tecnológica de Nuevo León	Servicios científicos y técnicos	http://i2t2.org.mx/
	INEEL - Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Unidad Nuevo León	Electrónica	https://www.gob.mx/ineel
Puebla	INAOE - Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	Electrónica	http://www.inaoep.mx
Querétaro	CFATA - Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada	Dispositivos médicos	http://www.fata.unam.mx/web
	CIDESI - Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Unidad Querétaro	Tecnologías de la información	http://www.cidesi.com
	CICATA - Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro	Servicios científicos y técnicos	http://www.cicataqro.ipn.mx/Paginas/index.php
	CIATEQ - Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro	Automotriz	http://www.ciateq.mx
	CINVESTAV - Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Querétaro	Servicios científicos y técnicos	http://www.qro.cinvestav.mx/index.php
	CIDETEQ - Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica	Electrónica	http://www.cideteq.mx
	CENAM - Centro Nacional de Metrología	Servicios científicos y técnicos	http://www.gob.mx/cenam
San Luis Potosí	CICSaB - Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina	Servicios de salud	http://www.uaslp.mx/CICSaB
	CIATEQ - Centro de Investigación y Asistencia Técnica, Unidad San Luis Potosí	Automotriz	http://www.ciateq.mx
	CIACYT - Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología	Servicios científicos y técnicos	http://www.ciacyt.uaslp.mx
	IPICYT - Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica	Alimentos y bebidas	http://www.ipicyt.edu.mx
Sonora	CIAD - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo	Alimentos y bebidas	http://www.ciad.mx
Tabasco	CIATEQ - Centro de Investigación y Asistencia Técnica, Unidad Tabasco	Hidrocarburos	http://www.ciateq.mx

Entidad federativa	Nombre	Sector relacionado	Sitio internet
Tamaulipas	CICATA - Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira	Servicios científicos y técnicos	http://www.cicataaltamira.ipn.mx/Paginas/Inicio.aspx
	CINVESTAV - Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Tamaulipas	Servicios científicos y técnicos	http://www.tamps.cinvestav.mx
Tlaxcala	CIBA - Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Unidad Tlaxcala	Agricultura	http://www.cibatlaxcala.ipn.mx/Paginas/Inicio.aspx
Veracruz	MICRONA - Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología	Química	http://www.uv.mx/veracruz/microna
	INEEL - Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Unidad Veracruz	Electrónica	https://www.gob.mx/ineel
Yucatán	CICY - Centro de Investigación Científica de Yucatán	Energías renovables	http://www.cicy.mx
	CIATEJ - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sede Mérida	Agricultura	https://ciatej.mx/sedes/3/sureste
	CINVESTAV - Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida	Servicios científicos y técnicos	https://www.mda.cinvestav.mx

Fuente: ProMéxico con datos de la UNAM y sitios públicos en internet.

Redes temáticas y clúster

Las primeras redes científicas formales creadas a mediados de la década de 2000 fueron la Red de Grupos de Investigación en Nanociencias de la UNAM, y el Centro Internacional para la Nanotecnología y los Materiales Avanzados.³⁹ Actualmente, algunas universidades nacionales cuentan con sus propias redes formales de investigación, algunas de mayor extensión que otras, pero todas creadas con la intención de brindar especial impulso a la nanotecnología en México.

El clúster, por su parte, fue creado en el año 2008 y ha sido un actor importante en el desarrollo económico de Nuevo León y de otras regiones del país, agrupa a empresas nacionales y extranjeras e impulsa las cadenas productivas vinculadas con la nanotecnología.



³⁹ Robles-Belmont, 2009

Redes y cluster de nanotecnología

Entidad federativa	Nombre	Comentarios	Sitio en internet
Baja California	BIONN - Red Internacional de Bionanotecnología	Creada en 2012, BIONN forma parte de las redes temáticas del CONACYT con más de 200 participantes en 35 grupos temáticos; 90 instituciones nacionales e internacionales. Genera conocimiento e innovaciones en cuatro áreas: salud pública, veterinaria, alimentación y bioseguridad, además cuenta con siete convenios y contratos con actores de la triple hélice.	http://bionn.org
Ciudad de México	RCNMN - Red del Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías del IPN	La Red del Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnología del IPN, cuenta con cerca de 100 miembros que trabajan con proyectos orientados a la innovación y al desarrollo tecnológico. Sus principales líneas de investigación son nanociencia, nanomateriales, micro y nanomanufactura, instrumentación, metrología y estándares, micro y nanodispositivos, micro y nanosistemas; y, el impacto económico y social de la micro-nanotecnología. La red busca crear sinergias entre las más de 15 unidades académicas del IPN que la conforman y los sectores productivo, social y gubernamental. ⁴⁰	http://www.nanocentro.ipn.mx
Ciudad de México	DINANO - División de Nanociencias y Nanotecnología de la SMF	La División de Nanociencia y Nanotecnología (DINANO) de la Sociedad Mexicana de Física (SMF) de la UNAM, fue creada para fomentar la colaboración y el intercambio de experiencia entre investigadores y estudiantes de estas disciplinas, a través de reuniones nacionales y en el mismo congreso nacional de física. Dentro de sus objetivos está la vinculación de la comunidad académica con la industria y de esta manera reducir la brecha entre sí a fin de incrementar el apoyo de la industria a la investigación básica e impulsando la competitividad de esta. ⁴¹	http://smfdinano.mex.tl/
Ciudad de México	Red de Nanociencias de la UAM	Creada hace una década con alrededor de 50 investigadores, la red pretende obtener y difundir información sobre la nanociencia y nanotecnología, a fin de lograr la vinculación con la industria nacional e incidir en los procesos productivos, compartiendo la información de estudios a nivel mundial a través de foros y conferencias donde se promueve a la nanotecnología.	http://www.uam.mx/
Ciudad de México	Red Convergencia - Red de Convergencia Tecnológica	Si bien la Red de Convergencia Tecnológica del CONACYT no es una organización que dedica todo su enfoque a la nanotecnología, su intervención en la materia ha sido de gran apoyo para esquematizar un escenario tecnológico donde diversas tecnologías de propósito general convergen para crear soluciones tecnológicas innovadoras. En 2017, la red convocó a uno de los más importantes exponentes de la nanotecnología a nivel internacional, el científico Mihail C. Roco, quien compartió con expertos mexicanos los avances y tendencias más relevantes de esta materia.	http://red-convergencia.org.mx/
Querétaro	RNyN - Red de Nanociencias y Nanotecnología	La Red de Nanociencias y Nanotecnología dirigida por la UNAM en colaboración con el CONACYT, es la más grande de su tipo a nivel nacional, en esta participan más de 500 investigadores de más de 15 instituciones académicas y centros de investigación nacionales e internacionales. Dentro de sus objetivos se encuentra la colaboración en el desarrollo de proyectos y en la generación de conocimiento, a través del trabajo de equipos inter y multidisciplinarios a fin de investigar, desarrollar y generar conocimiento de alto impacto en materia de nanotecnología. ⁴²	http://www.nanored.org.mx/

⁴⁰ <http://www.ipn.mx/coriyp/rednanociencias/Paginas/inicio.aspx>

⁴¹ <http://smfdinano.mex.tl/>

⁴² <http://www.nanored.org.mx>

Entidad federativa	Nombre	Comentarios	Sitio en internet
Zacatecas	ReLANS - Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad	La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (RELANS) está conformada por más de 50 científicos de diferentes países del continente americano, cuyo enlace y coordinación lo realiza la Universidad Autónoma de Zacatecas. El trabajo de esta red ha servido para tener un mejor entendimiento del papel de las nanotecnologías en el desarrollo nacional, así como los avances e impactos a nivel regional, a través de foros de discusión e intercambios de información. Esta red cuenta con convenios y acuerdos de colaboración con instituciones académicas, gubernamentales y sociales, interesadas en conocer y evaluar las implicaciones políticas, económicas, sociales, legales, éticas y ambientales de la nanotecnología a nivel nacional e internacional en materia de cooperación y transferencia tecnológica con centros e instituciones extranjeras, así como en temas de regulación en el comercio de productos con base nanotecnológica. ⁴³	http://www.relans.org/
Nuevo León	CNNL - Clúster de Nanotecnología de Nuevo León	El Cluster se creó desde septiembre del 2008 bajo el modelo de la triple hélice, participan instituciones del sector industrial, de la academia y del gobierno. Su objetivo, contribuir al desarrollo económico sustentable del estado, a través, de la aplicación de la nanotecnología mediante el fortalecimiento de las cadenas productivas vinculadas a los materiales, la creación y el fortalecimiento de nuevas empresas, y la capacitación del capital humano para lograr llevar al mercado los proyectos basados en la nanotecnología. ⁴⁴	http://www.clusternano.com

Fuente: ProMéxico

Las redes han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la nanotecnología en nuestro país, muchos proyectos han sido impulsados hasta lograr su aplicación, la colaboración con redes en el extranjero ha sido importante para el intercambio de información tecnológica.

⁴³ <http://www.relans.org>

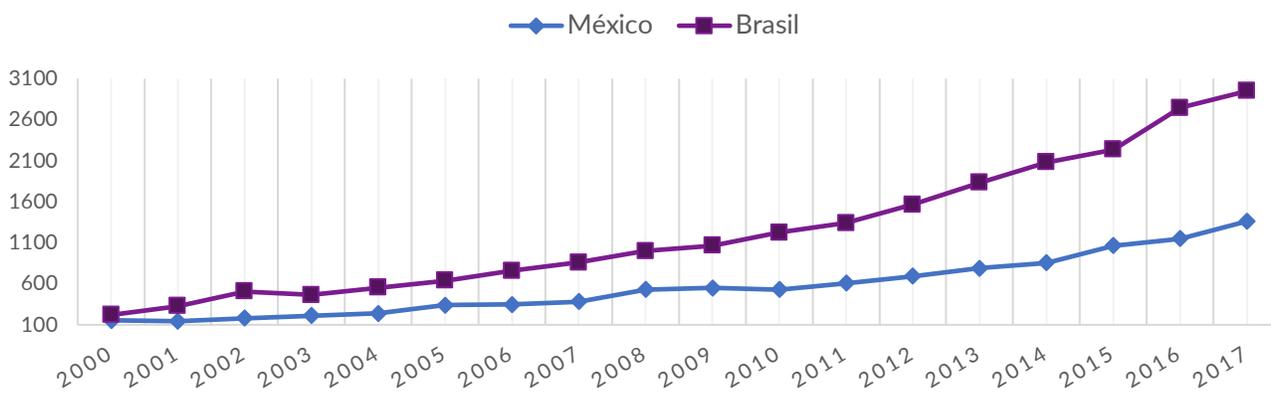
⁴⁴ <http://www.nl.gob.mx/cluster-de-nanotecnologia-de-nuevo-leon-ac>

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Otro indicador de innovación, competitividad y desarrollo generalmente aceptado es la producción científica, en la que México ha mantenido un crecimiento en el número de artículos reportados. De los más de un 1.8 millones publicados en todo el mundo en el periodo 2000 - 2017, México ha elaborado más de 10 mil, colocándose dentro de las primeras 30 posiciones a nivel mundial. De acuerdo con un ejercicio de bibliometría elaborado por la UNAM, el 37% de los documentos elaborados de 1990 a 2014 han sido elaborados por la misma institución, 19% al IPN, 14% al Centro de investigación de Materiales Avanzados S.C. (CINVESTAV) y el otro 30% se distribuye entre las demás instituciones.

Las investigaciones y la producción de conocimiento en esta materia buscan explotar las nuevas propiedades de los elementos derivado del uso de la nanotecnología en sectores como salud, energía, medio ambiente, alimentos, entre otros. Diversas áreas de la física y la química son parte de los temas de los artículos publicados, mientras que las ciencias de la vida y la biología participan en menor medida, la ciencia de los materiales tiene una presencia del 30%, que lo posiciona como el tema principal de enfoque dentro de la nanotecnología.⁴⁵

Número de documentos científicos publicados



Fuente: ProMéxico con datos de StatNano.

México y Brasil son los únicos países de América Latina que se incluyen en el top 30 de publicaciones. El crecimiento en el número de documentos científicos

creados y el número de patentes registradas desde el inicio de esta tendencia tecnológica ilustra el progreso paulatino de la nanotecnología en México.

⁴⁵ Las vicisitudes de la innovación en bio y nanotecnología en México.

MARCO REGULATORIO

Tal como sucede en el marco internacional, la extensa aplicación de la nanotecnología en la industria ha generado preocupaciones en torno a su regulación. Mucho se ha discutido alrededor del mundo acerca de los potenciales riesgos toxicológicos que afectan la salud y medio ambiente y que actualmente siguen carentes de un entendimiento general acerca del impacto real de la nanotecnología y por ende la definición un marco regulatorio.

Diferentes actores han trabajado en conjunto para formular estándares y externar diversos criterios en torno a la aplicación de la nanotecnología en los temas que comprenden todas las áreas de posible riesgo en la producción, aplicación y consumo de la nanotecnología. Su trabajo se traduce en informes que son publicados periódicamente de manera oficial; no obstante, debido a la constante innovación en la materia, la información requiere de una constante actualización, lo que dificulta contar con una versión concluyente que delimite con certeza la correcta aplicación y uso de esta tecnología.

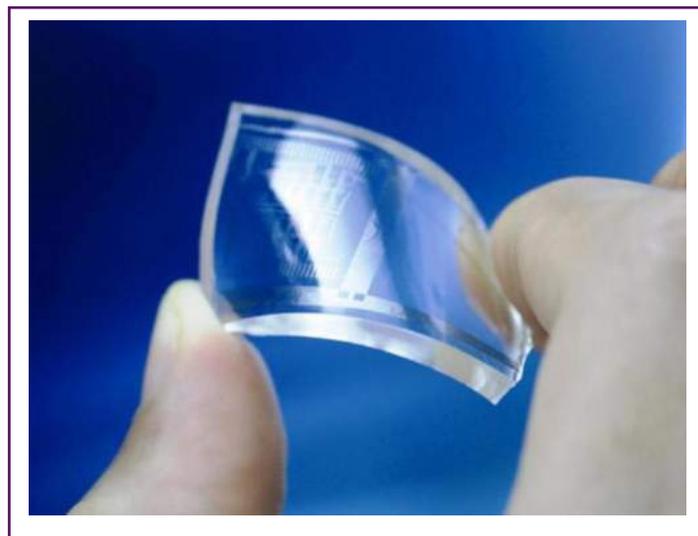
Esta situación es la barrera más grande para los inversionistas que apuestan por esta tecnología, debido a que no es posible contar con un escenario ideal para el desarrollo de nuevos productos y servicios, cada modificación o hallazgo conseguido en el desarrollo y de esta tecnología influye en la producción ya que puede

alcanzar restricciones en el uso o en los métodos de producción, lo que dificulta el escalamiento industrial.

En este sentido, la regulación de la nanotecnología a nivel nacional ha optado por sustituirse en la práctica, por un marco informal creado por expertos en la materia y basado en estándares e indicadores establecidos por organismos internacionales, que marcan pautas en el desarrollo de esta tecnología.

Para la caracterización y medición de los nanomateriales, se han definido patrones y métodos de medición enfocados las necesidades de las diferentes industrias, tal es el caso de ProMetNano, un programa creado por el CENAM, en el que participan instituciones nacionales e internacionales. Científicos e investigadores de diferentes instituciones también han desarrollado un proyecto en materia de salud y medio ambiente, denominado Sistema Nacional de Evaluación Nanotoxicológica SINANOTOX que, si bien no ha sido oficialmente puesto en marcha, servirá como una herramienta de consulta con información que asistirá a la regularización respecto a la exposición y riesgo generado por las nanopartículas.

A continuación, una tabla con algunos organismos identificados que participan en la elaboración de normas y protocolos:



Organismos que contribuyen a la elaboración de normas y protocolos de la nanotecnología en México

Empresas	Academia	Gobierno
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Farmaquimia ▶ FEI ▶ Gresmex ▶ Lotto Bio Nano Laboratories ▶ Micra Nanotecnología ▶ Nanomateriales ▶ VIRETEC ▶ Zeiss 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM ▶ Centro de Investigación en Materiales Avanzados ▶ Centro de Investigación en Química Aplicada ▶ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica ▶ Centro de Investigación y Estudios Avanzados ▶ Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM ▶ Colegio de San Luis ▶ Instituto Politécnico Nacional ▶ Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica ▶ Universidad Autónoma de Querétaro ▶ Universidad Autónoma Metropolitana ▶ Centro de Investigaciones Interdisciplinarias de Ciencias y Humanidades ▶ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía ▶ Centro Nacional de Metrología (CENAM) ▶ Instituto Mexicano del Petróleo ▶ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático ▶ Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares ▶ Instituto Nacional de Neurología y Neurociencia ▶ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ▶ Servicios Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria
Organismos		

Fuente: ProMéxico con datos de la RNyN.

NORMAS Y ESTÁNDARES

En 2007, la Secretaría de Economía elaboró diversos lineamientos de aplicación voluntaria, y atendiendo las recomendaciones de la Secretaría de Comercio de los Estados Unidos, se crea el Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnología (CTNNNN) a cargo del Centro Nacional de Metrología (CENAM) bajo la premisa de regular esta actividad.

A finales del año 2012, se publicaron los lineamientos para regulaciones sobre nanotecnologías para impulsar la competitividad y proteger al medio ambiente, la salud y la seguridad de los consumidores, el documento reconocía el aprovechamiento de la nanotecnología en productos de diversa índole, como cosméticos, recubrimientos, textiles, entre otros; así como la disponibilidad de la infraestructura y la existencia del capital humano, siendo este el primer intento de regulación, en el que estuvieron involucrados la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la UNAM, el CENAM, el IPN, el CONACYT, entre otros.

No fue sino hasta el 2013, que el CTNNNN logró crear sus reglas de operación, bajo la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y se le facultó para crear normas para la nanotecnología, tomando en consideración los criterios y recomendaciones de la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) y la OCDE, y consultando con expertos y socios comerciales del país, para llevar a cabo la normalización de la nanotecnología.

En 2014, la SE, a través de la Subsecretaría de Competitividad y Normatividad y la Dirección General de Normas, dio a conocer la entrada en vigor de una serie de normas que fueron homologadas con los estándares internacionales del sistema ISO.



Como resultado de la búsqueda correspondiente, en el catálogo de Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas, se localizaron las siguientes Normas con relación a la nanotecnología:

NMX-R-10867-SCFI-2014

NANOTECNOLOGÍAS-CARACTERIZACIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO DE UNA CAPA (NTCUC) MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE FOTOLUMINISCENCIA EN EL INFRARROJO CERCANO (EFL-IRC). Esta norma busca orientar la caracterización de nanotubos de carbono de una pared (NTCUC) usando espectroscopia de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano (EFL-IRC), describiendo un método de medición para la determinación de los índices quirales de NTCUC semiconductores en una muestra y sus intensidades integradas relativas de fotoluminiscencia.

NMX-R-10929-SCFI-2014

NANOTECNOLOGÍAS-CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE NANOTUBOS DE CARBONO DE MÚLTIPLES CAPAS (NTCMC). Busca identificar las propiedades físicas y químicas básicas de los nanotubos de carbono de múltiples capas (de aquí en adelante, NTCMC) y el contenido de impurezas que caracterizan las muestras de NTCMC para así dar una base firme para la investigación, desarrollo y comercialización de estos materiales.

NMX-R-13830-SCFI-2014

NANOTECNOLOGÍAS-GUÍA PARA EL ETIQUETADO DE NANO-OBJETOS MANUFACTURADOS Y DE PRODUCTOS QUE CONTENGAN NANO-OBJETOS MANUFACTURADOS. Orienta sobre el formato y contenido del etiquetado voluntario para nano-objetos manufacturados (n-OMs) y productos, preparaciones y mezclas que contengan nano-objetos manufacturados (PC-n-OMs). Busca homologar el uso de la etiqueta "nano" en productos.

NMX-R-27687-SCFI-2014

NANOTECNOLOGÍAS-TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES PARA NANO-OBJETOS-NANOPARTÍCULA, NANOFIBRA Y NANOPLACA. Enlista los términos y definiciones relativas a partículas en el campo de las nanotecnologías.

NMX-R-62622-SCFI-ANCE-2014

NANOTECNOLOGÍAS-DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DIMENSIONAL DE REJILLAS ARTIFICIALES. Busca mejorar la comunicación entre fabricantes, usuarios y laboratorios de calibración respecto a los parámetros de calidad dimensional de rejillas artificiales usadas en nanotecnología.

NMX-R-80004-1-SCFI-2014

NANOTECNOLOGÍAS-VOCABULARIO-PARTE 1: CONCEPTOS BÁSICOS. Enlista las definiciones y términos relacionados a los conceptos básicos de las nanotecnologías. Su objetivo es facilitar la comunicación entre las organizaciones y los individuos en la industria y de quienes interactúan con ellos.

NMX-R-80004-3-SCFI-2014

NANOTECNOLOGÍAS-VOCABULARIO-PARTE 3: NANO-OBJETOS DE CARBONO. Contiene términos y definiciones relacionadas a nano-objetos de carbono en el campo de las nanotecnologías.

NMX-R-12901-1-SCFI-2015

NANOTECNOLOGÍAS-GESTIÓN DE RIESGO OCUPACIONAL APLICADO A NANOMATERIALES MANUFACTURADOS. PARTE 1: PRINCIPIOS Y ENFOQUES. Busca coordinar la orientación sobre las medidas de seguridad relativas a los nanomateriales manufacturados, señalar el personal responsable de seguridad y de salud, directores de producción, responsables de medio ambiente, higienistas ocupacionales/industriales y otros responsables. Aplicando para materiales manufacturados que se contengan en nano-objetos como nanopartículas, nanofibras, nanotubos y nanoalambres, así como a los agregados y aglomerados de estos materiales incluyendo aquéllos de tamaño que excede la nanoescala (NOAA).

NMX-R-80004-5-SCFI-2015

NANOTECNOLOGÍAS VOCABULARIO PARTE 5: INTERFAZ NANO/BIO. Contiene los términos y definiciones relacionadas a la interfaz entre nanomateriales y biología. Regula la aplicación y uso de la nanotecnología en biología y biotecnología, así como su uso.

Como proyectos de normas que están evaluándose:

[PROY-NMX-R-80004-6-SCFI-2015](#)

NANOTECNOLOGÍAS – VOCABULARIO – PARTE 6:
CARACTERIZACIÓN DE NANO-OBJETOS.

[PROY-NMX-R-10798-SCFI-2016](#)

NANOTECNOLOGÍAS – CARACTERIZACIÓN DE
NANOTUBOS DE CARBONO DE UNA CAPA POR
MICROSCOPIA DE BARRIDO CON ELECTRONES Y
ESPECTROMETRÍA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE
RAYOS X

[PROY-NMX-R-12901-2-SCFI-2016](#)

NANOTECNOLOGÍAS - GESTIÓN DE RIESGO
OCUPACIONAL APLICADO A NANOMATERIALES
MANUFACTURADOS. PARTE 2: USO DEL ENFOQUE
DE CONTROL POR BANDAS

[PROY NMX-R-80004-4-SCFI-2016](#)

NANOTECNOLOGÍAS – VOCABULARIO -- PARTE 4:
MATERIALES NANOESTRUCTURADOS

Además de lo anterior, se elaboró un documento con carácter no vinculante emitido bajo los auspicios de la Subsecretaría de Competitividad y Normatividad de la Secretaría de Economía el 26 de noviembre de 2012:

LINEAMIENTOS PARA REGULACIONES SOBRE
NANOTECNOLOGÍAS PARA IMPULSAR LA
COMPETITIVIDAD Y PROTEGER AL MEDIO
AMBIENTE, LA SALUD Y LA SEGURIDAD DE LOS
CONSUMIDORES

PROPIEDAD INTELECTUAL

Con el fin de poder identificar las patentes registradas en México, se consultaron diferentes organismos responsables de proteger la propiedad intelectual a nivel mundial, los datos obtenidos se analizaron, clasificaron

y se sintetizaron y como resultado de esta labor, se identificaron 946 patentes de nanotecnología de origen nacional comprendidas en el periodo 2000 y 2017, tal como lo muestra el siguiente cuadro:

Patentes de nanotecnología registradas por México
(2000 a 2017)

Fuente	Número de Patentes
Oficina Europea de Patentes (EPO)	19
Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) ⁴⁶	828
Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) ⁴⁷	46
Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO)	53

Fuente: ProMéxico



⁴⁶ Para la búsqueda de patentes en OMPI se utilizaron 11 términos diferentes, además de booleanos en idioma inglés.
⁴⁷ La búsqueda se realizó en el sistema SIGA del IMPI utilizando únicamente la palabra "nanotecnología".

COOPERACIÓN INTERNACIONAL

La cooperación internacional se refiere al intercambio de conocimientos, de tecnología; competencias, buenas prácticas y recursos; de acciones que trascienden para impulsar el desarrollo e impulsar las relaciones entre las naciones.

En este marco, existe un acuerdo de cooperación en educación superior e investigación, vigente a la fecha, creado desde 1997 entre el Instituto de la Universidad de California para México (UC MEXUS) y el CONACYT, para apoyar a los investigadores postdoctorales, cuyo objetivo principal es promover una beca académica para los investigadores mexicanos recién egresados, los científicos y académicos de la Universidad de California durante sus primeros años de carrera después del doctorado; además de apoyar a las redes académicas binacionales existentes y en desarrollo para la mejora de proyectos de investigación entre ambas instituciones a través de la participación innovadora y la capacitación de nuevos investigadores.⁴⁸ Varios proyectos de nanotecnología en los que destaca el Inventario de empresas de nanotecnología en México en 2015, han sido el resultado de esta colaboración.⁴⁹

También existe un acuerdo de cooperación científica y tecnológica entre la Unión Europea y México desde 2004, que establece un marco de cooperación bilateral para crear el estímulo, desarrollo y facilitación de actividades de cooperación en las áreas de interés común.⁵⁰ Uno de los resultados tangibles es la relación

México y Suiza, naciones que han buscado fortalecer su relación bilateral con proyectos de investigación conjunta en sectores entre ellos la nanotecnología y tecnologías de la información; con este país se tiene una Inversión Extranjera Directa (IED) acumulada entre 1999 y junio de 2016, de más de 9,239.3 MDD, destinada principalmente a la industria manufacturera, a la información de medios masivos y a servicios profesionales y científicos.⁵¹

En ese mismo año, instituciones de México e Italia trabajaron en conjunto para la utilización de la nanotecnología a favor de la conservación del patrimonio cultural; es decir, la aplicación de nanomateriales para limpiar y proteger zonas arqueológicas, recubrimientos arquitectónicos, murales y otras esculturas. Este proyecto impulso el intercambio de conocimiento tecnológico, en donde nuestro país identificó nuevas técnicas de nuevos materiales.⁵²

En 2017, en un proyecto conjunto con China, cerca de 70 científicos buscaron desarrollar energía renovable que sea capaz de reducir la contaminación ambiental. De parte de México, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México, presentó su experimento para eliminar los metales pesados en el agua potable, basándose en los nanomateriales que diseñaron y desarrollaron y así reducir la contaminación del agua.⁵³



La investigación y el desarrollo son áreas científicas que requieren grandes inversiones, por lo que la cooperación internacional es indispensable para lograr los objetivos.

⁴⁸ <https://mex-eua.sre.gob.mx/images/stories/PDF/BecasPosdoctoralesUCMEXUSCONACYT.pdf>

⁴⁹ <http://www.relans.org/Actividades.html>

⁵⁰ <http://www.conacyt.gob.mx/pci/index.php/dci/pe/mexico-ue-en-nanociencias-y-nanotecnologias>

⁵¹ <https://www.gob.mx/se/articulos/mexico-y-suiza-fortalecen-su-relacion-bilateral>

⁵² <https://www.gob.mx/amexcid/articulos/mexico-e-italia-desarrollan-nanotecnologia-para-la-conservacion-del-patrimonio-cultural-mexicano?idiom=es>

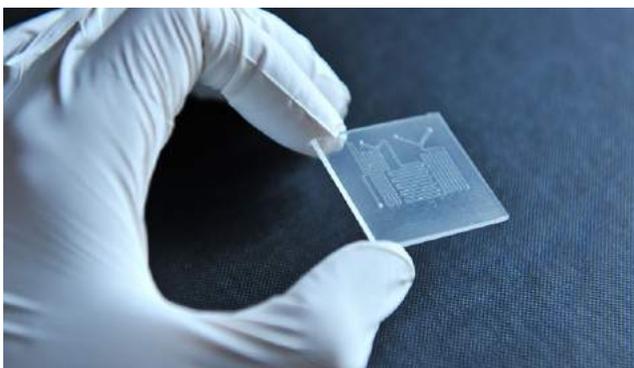
⁵³ http://news.xinhuanet.com/english/2017-08/21/c_136541320.htm

NANOTECNOLOGÍA MEXICANA APLICADA

Las investigaciones de la nanotecnología a nivel nacional han sido enfocadas a la generación de energías alternativas, reducción de contaminación del agua, tierra y clima, nanomateriales de alto desempeño, catalizadores nanoestructurados y bionanotecnología con relación a la medicina y cuidado de la salud.⁵⁴

La División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (CBI-UAM-A), se ha enfocado en la problemática del medio ambiente, el desarrollo y caracterización de materiales y la investigación teórica y experimental multidisciplinaria en varias línea de investigación como los nanomateriales para aplicaciones ambientales, energéticas, con aplicaciones en electrónica y en medicina.⁵⁵

En la rama de la construcción, científicos de la UNAM, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) e investigadores privados han desarrollado materiales reforzados por nanomoléculas de la mano de empresas privadas.⁵⁶



La pintura antigraffiti desarrollada por investigadores del Instituto de Física de la UNAM en 2001, incorporó a la pintura de acrílico nanoesferas de un material polímero que evitaban la adherencia de otra capa de pintura con aerosol una vez puesta sobre el muro.⁵⁷ El

nombre que recibió fue el del Deletum 3000,⁵⁸ ahora se comercializa en México y Estados Unidos por Cemex.



Otro ejemplo es el geopolímero fotoluminiscente es el cemento luminiscente creado en laboratorios michoacanos (UMSNH) en 2015 con una inversión de aproximadamente de 50 mil pesos⁵⁹ y con patentado a nivel internacional,⁶⁰ pretende ser utilizarlo para dar espacios iluminados por energía sustentable y sin costos de mantenimiento, una vez que es instalado. ⁶¹

En 2014, la empresa tijuanaense Concreto Poliamídico Luminakret innovó incorporando nanobots (semiconductor metálico) al concreto hidráulico reduciendo problemas del nivel de contaminación, el calentamiento global y la lluvia ácida⁶² al tener contacto con la luz.⁶³



⁵⁴ AXIS

⁵⁵ Torres Rodríguez, Miguel. (enero-junio, 2016) División de Ciencias Básicas e Ingeniería - UAM Azcapotzalco. Mundo Nano p.7-9

⁵⁶ <http://www.conricyt.mx/noticia-detalle.php?noti=485>

⁵⁷ <http://www.conricyt.mx/noticia-detalle.php?noti=485>

⁵⁸ <http://www.fundacionunam.org.mx/vanguardia-unam/inventos-de-la-unam-conoces-la-pintura-antigraffiti/>

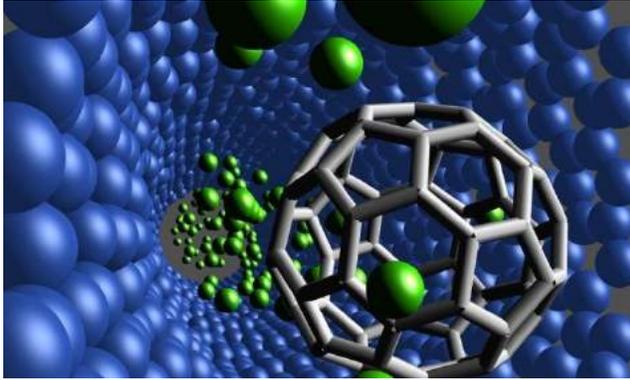
⁵⁹ <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/3264-crean-cemento-emisor-de-luz-para-la-construccion>

⁶⁰ <http://adnsureste.info/con-nanotecnologia-mexicanos-mejoran-industria-de-la-construccion-1600-h/>

⁶¹ <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/3264-crean-cemento-emisor-de-luz-para-la-construccion>

⁶² <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/enero2016/noticias.pdf>

⁶³ <http://adnsureste.info/con-nanotecnologia-mexicanos-mejoran-industria-de-la-construccion-1600-h/>



El Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (Ciitec) del IPN desarrolló un cemento altamente resistente (Pórtland)⁶⁴ fraguado rápido y súper fluido, que alcanza una resistencia de 550 kilogramos por cm², el primer día, y de mil 50 kilogramos por cm² a los 28 días, es decir, generando mayor resistencia que los actualmente existentes en el mercado.⁶⁵ Es decir, a un cemento comercial ordinario se le da mayor valor agregado, haciéndolo más fino hasta que se forma una distribución de tamaño de partículas efectiva.⁶⁶

En ciencias de la salud, la Red Internacional de Bionanotecnología desarrolló en 2016, antídotos comerciables contra enfermedades como moquillo canino, mastitis bovina y neumonía. Después de 6 años de investigación, surgieron los experimentos con animales enfermos, a los que se les incluyeron nanopartículas de plata en el alimento durante una semana, obteniendo buenos niveles de recuperación en el antídoto para el mosquito canino.⁶⁷

Otro aporte es un parche, de 8 mm de diámetro y con un peso de menos de 1000 microgramos, por parte del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) del CONACYT. Este dispositivo está constituido por nanocelulosa (nanopapel) y nanopartículas de plata, que al entrar en contacto con la luz solar inician un proceso de degradación que las disminuye en tamaño, modificando el color del parche, constituyendo una alerta de que se ha alcanzado un nivel moderado de exposición solar⁶⁸



México está forjando un futuro para un desarrollo sostenido de una tecnociencia que promete construir las bases de la próxima revolución industrial

⁶⁴ http://www.excelsior.com.mx/nacional/2017/03/04/1150048#imagen_2
⁶⁵ <https://www.vanguardia.com.mx/articulo/mexicanos-crean-cemento-altamente-resistente-con-nanotecnologia>
⁶⁶ <http://www.cronica.com.mx/notas/2017/1012643.html>

⁶⁷ <http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/10138-red-internacional-de-bionanotecnologia-desarrolla-antidotos>
⁶⁸ <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/salud/19600-nanotecnologia-para-el-cuidado-de-la-pie>

RETOS ESTRATÉGICOS

Sin duda alguna, la creciente incursión de México en la nanotecnología deja al descubierto diversos retos que deben ser aprovechados como país y que se refieren a:

- ▶ Incrementar los esfuerzos realizados para **estimular el desarrollo científico y tecnológico**, así como la innovación en México que hasta ahora han sido insuficientes. El presupuesto es inferior al óptimo definido por los parámetros internacionales y esto tiene repercusiones negativas en todo el sistema. La inversión privada es muy baja e impide que nuestra economía pueda crecer e insertarse en sectores con alto dinamismo tecnológico. Los efectos de incrementar el gasto en investigación para la nanotecnología serían muy benéficos y representan un extraordinario reto y oportunidad para el desarrollo económico y el bienestar social de México.
- ▶ **Replicar e incrementar el número de consorcios temáticos**, así como las capacidades de algunos centros de investigación, traería consigo un crecimiento en los diferentes proyectos, en la adquisición de nuevos equipos, en la generación de nuevos grupos de investigación y como resultado en que existan más empresas interesadas en la adopción de nanotecnología.
- ▶ **Buscar programas de cooperación internacional** que permitan incrementar la transferencia tecnológica y de conocimiento en favor de la competitividad de las empresas mexicanas.
- ▶ Determinar **incentivos fiscales apropiados** por parte del gobierno federal, que estén alineados con una estrategia nacional de Ciencia y Tecnología.
- ▶ Procurar **que las universidades estén alineadas**, se fortalezcan e incrementen las carreras asociadas con tecnología; considerando a la nanotecnología como un habilitador de alto impacto para la industria y mercados ya establecidos, ya que, a través de nanomateriales, nanoherramientas y nanodispositivos se pueden crear nuevos productos y servicios para consumo interno y de exportación.
- ▶ **Retener el talento humano calificado** a través de mejores incentivos acompañados de un programa de inversión en la industria mexicana.
- ▶ **Diseñar un proyecto de país con una estrategia orientada a ciertos sectores y aplicaciones**, así como el apoyo a la participación y colaboración de la triple hélice para dar un fuerte impulso a México y elevar su nivel de competitividad. Una de las acciones que podría dar celeridad a este reto es la aprobación de la iniciativa para dotar al CONACYT con un diseño institucional con visión de largo plazo que además le permitiera proponer política pública.
- ▶ **Impulsar al país en los negocios globales** y para ello es altamente recomendable que dentro del proyecto de nación para el periodo 2018-2024, se asigne un presupuesto para la nanotecnología acompañado de una estrategia por sector. México tiene oportunidad de posicionarse como un destino atractivo para la inversión comparado con los países líderes.
- ▶ México sí realiza investigación, desarrollo e innovación a nivel científico, incluso la etapa de prototipo se encuentra en una etapa de madurez, sin embargo, **el escalonamiento y exportación son retos que se deben enfrentar con celeridad para ir al ritmo del mercado global.**

REFLEXIONES FINALES

Las nuevas tecnologías han acelerado y transformado la forma hacer negocios; la innovación es el punto de partida en la industria y justamente ahí es donde la nanotecnología se inserta para crear, extraer y entregar mayor valor en la generación de nuevos productos y servicios.

La innovación es un motor importante del desarrollo y la transformación económica, que requiere de inversiones considerables de capital; lo que representa claramente un obstáculo importante a la innovación en las empresas. En varios países en desarrollo la fuente principal de inversión en nanotecnología proviene del sector gobierno; sin embargo, en una visión más integradora, la inversión podría proceder de una estructura interactiva, sistémica y conciliadora, conjuntando los esfuerzos de los actores de la triple hélice a fin de fortalecer el sistema.

Como se ha mencionado en el desarrollo del presente documento, los nanomateriales tienen la mayor participación de mercado de la nanotecnología en el mundo y en México, ya se cuenta con empresas cuyo enfoque y propósito es el desarrollo de este segmento. Y para identificar con mayor claridad las oportunidades de negocio para las empresas mexicanas fue posible identificar que son los nanocompuestos y los nanotubos los que tienen la más alta estimación de crecimiento dentro del segmento.

Los hechos que frenaron el crecimiento de los productos con nanotecnología en Europa y la cercanía con los Estados Unidos son dos factores que se convierten en una ventana de oportunidad para México. Respecto de Europa, vale la pena dar seguimiento a sus mejores prácticas y recientes regulaciones. Estados Unidos es hoy el país que más nanotecnología ha desarrollado y varios organismos mexicanos ya tienen una relación establecida.

El desarrollo de la nanotecnología en México es uno de los mejores de América Latina, sus capacidades

científicas, académicas e industriales, lo distinguen como un país competitivo en la materia y uno de los líderes en el desarrollo de la nanotecnología de la región, solo por debajo de Brasil y seguido por Argentina y Chile. No obstante, **es deseable que con la infraestructura actual y con la visión de futuro; la triple hélice impulse una estrategia nacional clara y de largo plazo** para que México se inserte en el escenario mundial basada en la innovación a través de la cual se puedan identificar los grandes hitos para competir a nivel global.

La región norte y centro concentran los dos polos de competitividad de la nanotecnología en México cuyo potencial podría detonar oportunidades de negocio. Así también se pudo observar que la región sur cuenta con muy poca actividad en la materia, lo que podría representar una oportunidad para incluir a la nanotecnología en las estrategias de las Zonas Económicas Especiales (ZEE) y atraer inversión. En general, los proyectos e iniciativas de alto valor que desarrollan los actores citados en cada una de las regiones no alcanzan a tener un impacto nacional, y al quedarse con un alcance regional, pierden valor en el impacto y beneficios que podrían derivar.

México es reconocido como un exportador de clase mundial en las industrias aeroespacial, automotriz, electrónica, entre las más destacadas, situación que permite visualizar que, con alianzas estratégicas acompañadas de transferencia tecnológica, la aplicación de la nanotecnología en estos tres sectores con tecnología mexicana podría maximizar el valor económico de las exportaciones.

En el mundo existen iniciativas como la que México está llevando a través del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León para conjuntar los esfuerzos de la triple hélice. Países como Japón, Estados Unidos, Alemania, Finlandia y China son algunos que cuentan con un clúster y que trabajan bajo un esquema similar.

La academia también juega uno de los papeles más importantes dentro de la nanotecnología en el país, ya que mantiene el conocimiento actualizado a través de la investigación de esta tecnología. Actualmente, la investigación científica de la nanotecnología le ha dado prioridad a los proyectos que impactan principalmente en el bienestar social y ambiental, donde destacan las aplicaciones médicas, fármacos inteligentes, obtención de energías limpias, potabilización y desalinización del agua.

No obstante a lo anterior, más de la mitad de los egresados de los diferentes programas de estudio relacionados con la nanotecnología tienden a continuar con trabajos de investigación y especialización en la materia, buscando un lugar como investigadores en instituciones nacionales e internacionales; mientras que otra mezcla importante busca una estratégica inserción en las firmas internacionales más avanzadas en la materia, a fin de conseguir mayores beneficios económicos y sociales en el extranjero, un problema común para muchas áreas tecnológicas del conocimiento en México. En México, las ofertas de empleo provenientes de empresas de los países más desarrollados logran superar las remuneraciones y prestaciones nacionales y, por lo tanto, atraer el interés del talento mexicano.

La regulación sobre la materia en México es escasa, lo que ha inhibido el ritmo de desarrollo de la nanotecnología. Los nanomateriales demandan de una regulación efectiva con soluciones que van más allá de las formas tradicionales de construir un marco regulatorio, además requiere de la participación de diferentes instituciones y actores altamente especializados, que en conjunto sean capaces de reconocer los riesgos en el manejo de la nanoescala, además del impacto que tendrá en el planeta y los seres vivos, la dirección, aplicación y el control de las innovaciones tecnológicas de la nanotecnología.

Un eslabón dentro de la nanotecnología que podría convertirse en sólido pilar para las empresas mexicanas, es la creación de un marco regulatorio, para lo cual las entidades responsables deben avanzar con mucha rapidez en la adopción de las mejores prácticas

mundiales y su clasificación, para que las empresas mexicanas cumplan con los estándares internacionales.

Actualmente, el proceso de desarrollo de un producto nanotecnológico es complicado y puede rebasar los cinco años, periodo en que las empresas que han trabajado en desarrollar un solo producto no alcanzan una estabilidad económica que les permita mantenerse en el mercado. Si estas empresas contaran con el desarrollo de por lo menos tres productos, podrían encontrar un punto medio en donde el tiempo de desarrollo se acorta. Existen casos de éxito de empresarios mexicanos que ya comercializan productos con base nanotecnológica que incluso han alcanzado el escalonamiento y que fueron referidos en el presente documento.

Una de las principales fortalezas para México en materia de nanotecnología son la infraestructura y el talento que existe a nivel nacional. Algunas de las industrias con mayor potencial de crecimiento en México son la de plásticos: resinas, polímeros; los metales: cobre, plata, oro, acero, aluminio; la metalmecánica; y, la de empaques y embalajes.

La falta de capacidades puede ser considerada una falla del mercado. Esto junto al hecho que los países en desarrollo tienen recursos financieros limitados, lo que trae consigo la necesidad de una intervención gubernamental estratégica.

De hecho, actualmente se desarrollan diferentes estrategias para impulsar el desarrollo de productos y servicios con nanotecnología en los sectores prioritarios de México, para que logren insertarse en el mercado global. Estas incluyen el desarrollo de proyectos entre la ciencia y la producción, orientadas al uso y aplicación de la nanotecnología como herramienta de innovación de los procesos industriales, creando productos y servicios en sectores como automotriz, aeronáutico, farmacéutico, energético y salud.

Tomando en cuenta lo antes descrito, **vale la pena conceptualizar y formalizar una estructura de conocimiento hacia la nanotecnología, ya que en un futuro próximo formará parte de lo cotidiano y proveerá de muchos beneficios.**

BIBLIOGRAFÍA

- ▶ American National Standard Institute (ANSI). (2018). ANSI. Obtenido de ANSI: <https://www.ansi.org/>
- ▶ Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. (2018). ANUIES. Obtenido de ANUIES: www.anui.es.mx
- ▶ AXIS. (2013). Diagnóstico y nanotecnología en México. AXIS - Diagnóstico y nanotecnología en México.
- ▶ AXIS. (AXIS - Diagnóstico: nanotecnología en México). Diagnóstico: nanotecnología en México. Ciudad de México: AXIS.
- ▶ Banco Mundial. (2018). World Bank. Obtenido de <http://www.worldbank.org/>
- ▶ BCC Research. (2017). BCC Research. Obtenido de BCC Research: The Maturing Nanotechnology Market: <https://www.bccresearch.com/>
- ▶ CINESTAV. (2018). Nanoeconomía en México. Obtenido de Nanoeconomía en México: <https://micrositios.cinvestav.mx/nano/>
- ▶ Clúster de Nanotecnología de Nuevo León. (2018). Clúster Nano. Obtenido de Clúster Nano: <http://www.clusternano.com>
- ▶ Consejo Nacional para la Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2018). CONACYT. Obtenido de CONACYT: conacyt.gob.mx
- ▶ Cornejo, L. (2015). Nuevas Tecnologías y Materiales. Obtenido de Nuevas tecnologías y Materiales: Clasificación de los nanomateriales: <http://nuevastecnologiasymateriales.com/clasificacion-de-los-nano-materiales>
- ▶ Food & Drugs Administration (FDA). (s.f.). FDA. Obtenido de FDA: <https://www.fda.gov/>
- ▶ History of Nanotechnology. (2015). Obtenido de Try Nanotechnology Organization Sitio Web: www.trynano.org/about/history-nanotechnology
- ▶ Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). (2018). IMPI. Obtenido de IMPI: <http://impi.gob.mx>
- ▶ Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2018). INEGI. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/>
- ▶ Massachusetts Institute of Technology. (2018). MIT.Nano. Obtenido de MIT.Nano: Power of Nanotechnology: <https://mitnano.mit.edu/power-nano>
- ▶ MEHR News Agency. (Noviembre de 2017). MEHR News Agency. Obtenido de MEHR News Agency: Iran increase nanoprodukt sales: <https://en.mehrnews.com/news/129630/Iran-to-increase-nano-product-sales-in-Chinese-market>
- ▶ Nanotechnology Government: Nanotechnology Timeline. (2018). Obtenido de Nanotechnology Government Web: <https://www.nano.gov/timeline>
- ▶ NASA. (Noviembre de 2018). NASA Government. Obtenido de NASA Government: Nanotechnology Roadmap (Draft): https://www.nasa.gov/pdf/501325main_TA10-Nanotech-DRAFT-Nov2010-A.pdf
- ▶ National Nanotechnology Initiative (NNI). (2018). NNI. Obtenido de NNI: <https://www.nano.gov/>
- ▶ Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). (s.f.). PatentScope. Obtenido de PatentScope: <https://patentscope.wipo.int/>
- ▶ Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). (2018). OCDE. Obtenido de OCDE: <https://www.oecd.org>
- ▶ Roco, M. (2008). Center for Responsible Nanotechnology. Obtenido de Center for Responsible Nanotechnology: Whats is nanotechnology?: <http://www.crnano.org/whatis.htm>
- ▶ StatNano. (2018). StatNano. Obtenido de <http://statnano.com>
- ▶ Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2018). UNAM. Obtenido de UNAM: <https://www.unam.mx/>

