

Identificación de posibles riesgos toxicológicos y sus regulaciones sanitarias del uso de nanomateriales en productos de consumo humano en México

López-de la Mora David Alejandro.

Autor para correspondencia

Coordinación de Investigación, Universidad Guadalajara LAMAR

Av. Vallarta No. 3273-1, Col. Vallarta Poniente, C.P. 44110, Guadalajara, Jal. Tel. +52 (33) 38 80 55 00 ext. 1144

Contacto al correo electrónico: dalopezm@lamar.edu.mx y david.lopezdelamora@cutonala.udg.mx

Palabras clave: Nanotecnología, toxicidad, regulación sanitaria

Keywords: Nanotechnology, toxicity, sanitary regulation



Identificación de posibles riesgos toxicológicos y sus regulaciones sanitarias del uso de nanomateriales en productos de consumo humano en México

López-de la Mora DA^{a,b}

Resumen

Identificar los posibles riesgos toxicológicos de las diversas nanopartículas utilizadas en productos de consumo humano, así como también revisar las regulaciones existentes en México y el mundo del uso de dichas nanopartículas en el mercado. Presentamos esta revisión bibliográfica de las diversas regulaciones nacionales e internacionales que refieren el uso de las nanopartículas así como también la revisión de bibliografía científica que señala los pros y contras del uso de las nanoestructuras. Existe evidencia científica de la posible toxicidad del constante uso de las nanopartículas. Sin embargo, la toxicidad esta relacionada al material y concentración. No existe una regulación que hable de forma clara y específica sobre el uso de la nanotecnología en México. Es importante tomar en cuenta la implicación bioética, ambiental y de posibles reacciones adversas a la salud del uso y manejo de la nanotecnología que se desarrolla para su correcta comercialización.

Palabras clave: *Nanotecnología, toxicidad, regulación sanitaria*

Identification of possible toxicological risks and their sanitary regulations of the use of nanomaterials in products for human consumption in Mexico

Abstract

Our objective was to identify the possible toxicological risks of the various nanoparticles used in products for human consumption, as well as review the existing regulations in Mexico and the world of the use of said nanoparticles in the market. Material and methods. In this bibliographic review of the various national and international regulations that refer to the use of nanoparticles as well as the review of scientific literature that points out the pros and cons of the use of nanostructures. There is scientific evidence of the possible toxicity of the constant use of nanoparticles. However, the toxicity is related to the material and concentration. There is no regulation that speaks clearly and specifically about the use of nanotechnology in Mexico. It is important to take into account the bioethical, environmental and possible adverse reactions to health of the use and management of nanotechnology that is developed for proper marketing.

Key words: *Nanotechnology, toxicity, sanitary regulation*

a. Coordinación de Investigación,
Universidad Guadalajara LAMAR

b. Departamento de Ciencias
Biomédicas, Centro Universitario de
Tonalá, Universidad de Guadalajara.

Autor para correspondencia

Coordinación de Investigación,
Universidad Guadalajara LAMAR
Av. Vallarta No. 3273-1, Col. Vallarta
Poniente, C.P. 44110, Guadalajara
, Jal. Tel. +52 (33) 38 80 55 00 ext. 1144
Contacto al correo electrónico:
dalopez@lamar.edu.mx y
david.lopezdelamora@cutonala.udg.mx

Introducción

Hoy en día el término nanopartícula se ha vuelto común ya que cada vez son más los avances en la ciencia que involucran compuestos nanoestructurados. La nanotecnología es una rama de la ciencia e ingeniería dedicada a los diferentes materiales que tienen dimensiones que van de 1 a 100 nanómetros¹. Considerada como la innovación más grande de la ingeniería desde la revolución industrial, la nanotecnología también ha renovado la industria y el sector comercial². De acuerdo a la “*Nanotechnology Consumer Products Inventory (CPI)*”, durante el 2007 existían más de 600 productos nanotecnológicos que eran producidos por 322 compañías en 20 países³. Una actualización de esta base de datos del periodo 2010 – 2013 la CPI enlista 1012 productos de 409 compañías en 24 países. Como consecuencia de la gran demanda, han surgido otras bases de datos donde se enlistan los productos nanotecnológicos que están disponibles en el mercado comercial, como el *Japan's National Institute of Advanced industrial Science and Technology* que creó un inventario de “productos nanotecnológicos aclamados por los consumidores”, misma que enlista 586 productos desde 2007⁴. Dichos productos se exhiben para un fin de aplicaciones, dentro de los cuales muchos de estos tienen contacto directo con el ser humano como lo son pinturas con acción antibacterial⁵, recubrimientos anti-graffiti⁶, productos de limpieza, biotecnología, productos farmacéuticos^{7,8}, textiles⁹ e incluso alimentos^{10,11}. Sin embargo, actualmente existe una gran controversia si el beneficio de dichas nanopartículas es mayor al daño que pudiesen ocasionar muchas de estas al ser consumidas por el ser humano o el impacto que pudiesen tener en el medio ambiente², ya que el tamaño de las nanopartículas es tan pequeño que podrían presentar una gran facilidad para entrar en el ser humano y cruzar diversas barreras biológicas en el mismo, formando depósitos en órganos sensibles¹².

Clasificación de las nanopartículas

Las nanopartículas se pueden clasificar de acuerdo a sus propiedades químicas, morfología o tamaño. Para este caso, consideramos la clasificación por propiedades químicas ya que es una de las cuestiones más importantes en los productos de consumo que las contienen.

Nanopartículas a base de Carbono

Las nanopartículas como los fullerenos o nanotubos de carbono son las principales nano estructuras empleadas en la investigación y la industria¹³. Los fullerenos fueron descubiertos en 1985 y desde entonces han sido empleados en innumerables investigaciones como antivirales, fotosensores, antioxidantes, transportadores de genes y fármacos, entre otro¹⁴. Los nanotubos de carbono son estructuras tubulares que pueden variar en su longitud y diámetro. Comercialmente se han empleado como transportadores de sustancias, filtros para retener diferentes tipos de agentes químicos, entre otras aplicaciones que incluyen a la biomedicina como es el ejemplo de las prótesis¹⁵.

Nanopartículas a base de metales

En la actualidad existen nanopartículas de una gran variedad de metales y aleaciones. Sin embargo, las nanopartículas metálicas más empleadas comercialmente son de hierro, oro y plata, mismas que son utilizadas como agentes de recubrimiento de instrumental médico, textiles de uso clínico, incluso en diagnósticos y algunas como agentes terapéuticos en la medicina¹⁻¹⁶. Esto por su eficaz efecto antibacterial que presentan dichos metales¹⁷.

Nanopartículas Cerámicas

Las nanopartículas cerámicas son sólidos inorgánicos, sintetizados a partir de óxidos, carburos, fosfatos y carbonatos de metales y metaloides, esto por calor y enfriamiento. Dichas nanopartículas se pueden sintetizar en diferentes formas¹³. Las nanopartículas cerámicas tienen diversas aplicaciones ya que son muy resistentes al calor. En el campo biomédico han sido ampliamente utilizadas como acarreadores de fármacos, genes, proteínas, etc.¹⁸

Nanopartículas semiconductoras

Las nanopartículas semiconductoras también son llamadas *quantum dots* o *quantum rods*. Dichas nanopartículas presentan características ópticas, por lo cual son comúnmente empleadas para estudios de imagen¹⁹. Además de sus aplicaciones biomédicas también las podemos encontrar en electrónica y procesos químicos que se llevan a cabo en la industria²⁰.

Liposomas

Si bien es común ver muchas investigaciones empleando nanopartículas metálicas, la mayoría de los compuestos nanoestructurados empleados en las ciencias de la salud son no metálicos¹². Esto por los diferentes grados de toxicidad entre ambas. De estas últimas, las más frecuentes son los liposomas²¹. Los liposomas son vesículas esféricas que consisten en una bicapa lipídica que encapsula una fase acuosa, misma que es aprovechada para transportar fármacos^{12,22}. Una de las mayores ventajas de los liposomas es que se pueden dirigir a tejidos específicos ya que debido a su estructura es posible acoplar moléculas de superficie que los vuelva selectivos²².

Nanopartículas Poliméricas

Estas estructuras a base de polímeros son ampliamente utilizadas como acarreadores de fármacos. Generalmente las moléculas que contienen dichas nanopartículas son biocompatibles y bien aceptadas por las células lo que nos da como resultado una baja toxicidad en las mismas^{22,23}. Las nanopartículas poliméricas presentan algo llamado “*burst release*” o liberación rápida la cual se atribuye a la débil unión que presenta entre el fármaco y el polímero. Sin embargo, esto dependerá de la naturaleza de ambas estructuras químicas²³.

Nanotecnología en el campo de las ciencias de la salud

Los beneficios del uso de nanopartículas son múltiples hablando en materia de ciencias de la salud. Uno de los campos explotados por la nanotecnología es en la

investigación ya que existen aplicaciones tan diversas que van desde estudios laboratoriales hasta tratamientos complejos contra el cáncer²⁴. Puntualizando un poco las áreas de desarrollo de la nanotecnología, en la medicina existen nanocompuestos dirigidas a estudios de imagen, específicamente al marcaje de células tanto *in vitro* como *in vivo*, así como en tejidos de difícil acceso²⁵. También se han propuesto innovaciones conjugando técnicas tradicionales utilizadas en la clínica con la nanotecnología, como es el caso de la Resonancia Magnética²⁶. Se ha descrito el uso de nanopartículas supermagnéticas de óxido de hierro para la detección *in vivo* de cáncer, esto utilizando resonancia magnética²⁷. También se ha propuesto el uso de nanopartículas conjugadas con anticuerpos para aumentar la sensibilidad en las pruebas de ELISA²⁸ así como en la destrucción de tumores empleando hipertermia²⁹.

Por otra parte, la nanotecnología también ha tenido lugar en la farmacéutica debido al potencial de encapsulación de las distintas nanopartículas poliméricas³⁰. Muchas de las cuales no son tóxicas, ni presentan inmunogenicidad, es decir, pasan desapercibidas por el sistema inmune¹². Esto ofrece beneficios como el aumento de la biodisponibilidad pues muchos compuestos farmacológicos son poco solubles, haciendo más eficaz el envío de fármacos³¹.

En lo que respecta a productos de uso cotidiano, uno de los compuestos altamente empleados son las nanopartículas de dióxido de titanio³². Dichas nanoestructuras las podemos encontrar tanto en alimentos como cosméticos debido a su baja toxicidad³³. No obstante, existe una gran diversidad de nanopartículas que son utilizadas en los alimentos que otorgan diferentes características como la inhibición del crecimiento bacteriano en los mismos (nanopartículas de plata)³⁴, empaquetamiento y almacenamiento (nanoestructuras de silicato, celulosa, carbono, quitina)³⁵, biodisponibilidad (nanoemulsiones³⁶, nanolípidos³⁷, antioxidantes (nanopartículas de óxido de zinc)³⁸, aditivos colorantes (dióxido de sílice, dióxido de titanio), entre otros³⁹.

Sin embargo, a pesar de lo común que es el uso de compuestos nanoestructurados en México, muchos de los productos que los contienen no presentan información acerca de ello.

Las nanotecnología, toxicidad y demanda en el campo comercial

Los seres humanos han estado expuestos a nanopartículas desde su niñez⁴⁰. Esto debido a que las nanopartículas han existido en la naturaleza desde siempre. Y es que el término nanopartícula comúnmente lo relacionamos con materiales sintéticos. Sin embargo, se han encontrado nanopartículas en las cenizas de volcán, hollín, azufre y minerales que se encuentran en el aire que respiramos, incluso existen microorganismos que producen nanopartículas de azufre y selenio⁴¹. No obstante, debido a su tamaño tan pequeño, las nanopartículas pueden penetrar fácilmente diversos tejidos del cuerpo humano e incluso cruzar barreras biológicas⁴². Se ha descrito que las nanoestructuras de menos de 10 nm actúan similar a un gas y debido a esto es que el contacto de las mismas en grandes cantidades pueden ser nocivas para la

salud⁴³.

En relación a lo anterior existe un incremento en el número de estudios relacionados con la toxicidad de las nanopartículas donde se han empleado una variedad de compuestos como lo son TiO₂, Au, ZnO, SiO₂, FeO₄, nanotubos de carbono, Al₂O₃ entre otros⁴⁴.

En 2007, el *National Science Foundation* estimó un total de \$70 billones de dólares por ventas de productos con nanotecnología en los Estados Unidos de América, dicho número creció exponencialmente los siguientes años. Sin embargo, en octubre de 2010 el *National Organic Standards Board* (Junta Nacional de Normas Orgánicas), una junta asesora que hace recomendaciones al Secretario de Agricultura de los Estados Unidos sobre alimentos y productos orgánicos, recomendó que los nanomateriales ingenierizados fuesen prohibidos. Ese mismo año el *National Nanotechnology Initiative* (Iniciativa Nacional de Nanotecnología) estimó tener un presupuesto de \$1.78 billones de dólares para investigación en el campo de la nanotecnología. Un año más tarde, la *Environmental Protection Agency* (Agencia de Protección Ambiental) anunció que otorgaría un premio de \$5.5 millones de dólares a las innovaciones en salud y seguridad de base nanotecnológica⁴⁵.

Toxicidad de las nanopartículas comúnmente empleadas en el campo de la salud

Oro

Las nanopartículas de oro son comúnmente empleadas para ser funcionalizadas ya que se unen a los grupos amina y tiol. Han sido empleadas como acarreadores de ácidos nucleicos en terapia génica así como también en terapia térmica contra el cáncer⁴⁶. En diversos estudios se ha reportado que las nanopartículas de oro son seguras, incluso se han propuesto como vectores para el transporte de fármacos, especialmente quimioterapéuticos⁴⁷. Sin embargo, se ha relacionado la toxicidad de dichas nanoestructuras con la dosis utilizada, el agente estabilizante y el tamaño de la nanopartícula⁴⁸.

Cobre

Las nanopartículas de cobre son frecuentemente empleadas como semiconductores, agentes antibacteriales e incluso como anticonceptivos intrauterinos, por lo que se considera como un nanomaterial seguro⁴⁹. Sin embargo, en un estudio realizado en un animales experimentales demostró que la toxicidad de las nanopartículas de cobre esta directamente relacionada con la velocidad de disolución en el medio fisiológico. Aunque dichas nanopartículas resultaron menos tóxicas que el cobre ionizado⁵⁰, se ha demostrado que las nanopartículas de cobre pueden llegar a acumularse en hígado, bazo y riñón, lo cual produce una gran alteración en dichos órganos⁵¹. Además, se ha observado que la administración oral de nanoestructuras de cobre de 50 nm o menos, forma iones que se acumulan en gran medida en riñón⁵². Por lo tanto, depende mucho de la administración y medio en el cual son empleadas dichas nanoestructuras para poder decir que son totalmente seguras.

Plata. Las nanopartículas de plata son probablemente las nanoestructuras más estudiadas, así como también las más utilizadas actualmente⁵³. Dichas nanopartículas han sido ampliamente empleadas como agente antibacteriana en recubrimientos, especialmente de uso médico, tela, heridas, instrumentos, prótesis, entre otros⁵⁴. Se ha estudiado si la toxicidad de dichas nanopartículas difiere según la estructura biológica, sin embargo, no se encontraron diferencias pues en altas concentraciones las nanopartículas de plata tienen la misma magnitud toxicológica se trate de un virus o una célula⁵³. Se ha observado que su toxicidad está relacionada con la actividad mitocondrial de las células y al contrario que las nanopartículas de cobre, las de plata son más tóxicas que los iones de dicho elemento. Sin embargo, su efecto tóxico depende de la dosis y tamaño de partícula⁵⁵.

Oxido de Zinc

El óxido de zinc han sido empleadas en una gran variedad de productos que tienen que ver con el contacto humano, incluyendo productos de uso personal como lo son los bloqueadores solares⁵⁶. Las nanoestructuras a base de óxido de zinc han sido probadas y estudiadas tanto en células procariontas como eucariotas siendo el común denominador el estrés oxidativo y daño al ADN que se genera en ambos tipos celulares⁵⁷. Sin embargo, Chao Wang y colaboradores evaluaron el posible efecto tóxico de dichas nanopartículas por un periodo de hasta 35 semanas en un modelo murino, donde encontraron que la toxicidad estaba directamente relacionada con la dosis y el tiempo de exposición de dichas nanopartículas pues a bajas dosis y pocas semanas la toxicidad fue mínima, pero grandes dosis y tiempo prolongado observaron incluso un daño hepático^{58,59}.

Dióxido de Titanio

El dióxido de titanio es un compuesto altamente empleado en la industria de los alimentos, cosméticos, industria farmacéutica, recubrimientos, entre otros³². Anteriormente se ha evaluado los efectos tóxicos del consumo de las nanopartículas de dióxido de titanio, observándose daños en el ADN, acumulación en hígado, riñón, bazo y pulmones principalmente^{60,61}. Sin embargo, dicha toxicidad depende de las características químicas y físicas de dichas nanopartículas, así como del tamaño, exposición al ambiente, luz y una serie de cuidados que podemos observar en un fármaco de uso diario³³.

Nanopartículas poliméricas

Las nanoestructuras a base de polímeros son empleadas con fines de encapsulamiento para una liberación en tejidos específicos, el cual depende del polímero empleado, ya que son biocompatibles⁶². Una de las áreas más exploradas con dichas nanopartículas es la oncología. Existen diversas nanopartículas biopoliméricas que se han desarrollado para liberar los agentes quimioterapéuticos, como lo son: Micelas poliméricas, dendrímeros, polimerosomas, poliplexos, sistemas híbridos lípido-polímero y conjugados fármaco-polímero / proteína, muchos de ellos aprobados para su uso clínico⁶³ debido a que no causan inflamación, son no

inmunogénicos, no tóxicos y no activan neutrófilos⁶⁴. Las nanopartículas poliméricas tienen la ventaja de ser nanoesferas o nanocápsulas de las cuales sus compuestos son variados como por ejemplo: poli (láctido-co-glicólido) (PLGA), polilactida (PLA), poliglicólido, policaprolactona (PCL), poli (d, l-láctido), quitosano y PLGA-poli(etilenglicol) (PEG)^{64,62}.

Otras nanopartículas

Existen otros materiales que se han empleado en las ciencias de la salud, específicamente en la clínica, como lo son las nanoestructuras de carbono⁶⁵. Sin embargo, los reportes en la literatura son controversiales pues se habla de que son nanomateriales tóxicos⁶⁶⁻⁶⁸, aunque hay estudios que aseguran que su toxicidad es causa tanto de la forma estructural como de la dosis empleada, además del tejido en donde se realizan los ensayos^{69,70}. El hígado es el órgano más afectado cuando existe toxicidad debido a la acumulación de las nanopartículas de carbono⁷¹. Dentro de sus aplicaciones biomédicas se emplean como transportadores de fármacos. Se estima que el mercado de los nanotubos de carbono llegue a los 8.1 billones de dólares para el 2024, lo que indicaría un aumento considerable para entonces⁷². Por otro lado, existen otras nanopartículas que se emplean como transportadores de fármacos en los cuales se libera bajo ciertas características como lo es la sílica⁷³. Se han reportado la expresión de IL-1, IL-6, IL-8, TNF- α y daño mitocondrial por la administración de nanopartículas de sílica en modelos experimentales⁷⁴.

Aunque la mayoría de las nanoestructuras mencionadas tiene aplicación en la industria, existen productos de contacto directo con el ser humano por lo que son necesarios más estudios que determinen la dosis terapéutica o dosis segura para emplearlo en la clínica.

Discusión

A raíz del creciente auge de la nanotecnología tanto en la industria como en las ciencias de la salud, Estados Unidos de América ha regulado los diversos nanomateriales sin disposiciones específicas, esto acorde a su uso y posible riesgo al ser empleados en productos de contacto humano. Por ejemplo; de manera general las nanopartículas están reguladas sin una especificación en particular como Sustancias Químicas Peligrosas y Pesticidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA por sus siglas en inglés de *Toxic Substances Control Act*) donde incluso dicho documento define el término de “nanomaterial ingenierizado” como una partícula, sustancia, o material que ha sido ingenierizado para tener una o más dimensiones en la nanoescala⁷⁵, además de la Ley Federal de insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas (FIFRA por sus siglas en inglés de *Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act*)⁷⁶. Sin embargo, cuando dichas nanoestructuras son empleadas en comida, fármacos o cosméticos, se encuentran regulados bajo la Ley de Alimentos, Drogas y Cosméticos (FFDCA por sus siglas en inglés de *Federal Food, Drug, and Cosmetic Act*) la cual es emitida por la Agencia de Alimentos y Drogas (FDA por sus siglas en inglés de *Food and Drug Administration*)⁷⁷.

Por su parte, la Unión Europea regula los nanomateriales bajo la normativa de Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Productos Químicos (REACH por sus siglas en inglés de *Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals*) y la Clasificación, Sello y Empacamiento (CLP por sus siglas en inglés de *Classification, Labeling, and Packaging*)⁷⁸. Por su parte, Francia estableció un decreto en el año 2012 donde establece que las manufactureras, importadores y distribuidores deben de reportar de manera anual la cantidad de nanomateriales pues no deben de exceder de 10 gramos por año (Decree 2012-232) [79]. El resto de países de la Unión Europea no presenta una regulación en particular pues se basan en la regulación de REACH. Sin embargo, Países como Suecia, Holanda, Bélgica y Alemania presentaron una alerta de riesgo por el uso y consumo de nanopartículas en la salud durante los años 2007 a 2010. Posteriormente, Francia establece su decreto 2012-232, Alemania presenta el *Action Plan Nanotechnology 2015* en 2011 [80] que posteriormente se actualizó en el llamado *Action Plan Nanotechnology 2020 The New High-Tech Strategy*⁸¹, donde además de otros temas, menciona la importancia de identificar los riesgos de los nanomateriales para los seres humanos y el medio ambiente y propone que la innovación sea sustentable mediante la creación y planeación de condiciones para dicho propósito. El documento también incluye apartados dependiendo del uso de las nanopartículas junto con recomendaciones e instrucciones de los diversos organismos a quien deben dirigirse los maquiladores, distribuidores e importadores de los nanomateriales⁸¹. Mientras que Bélgica y Holanda solicitan el registro de los nanomateriales en los productos de consumo en el año 2013, siguen estando regidos por el REACH⁷⁸.

En lo que respecta a Asia no existe una regulación general como en el caso de la Unión Europea, sin embargo, en los diferentes países existe en la Ley el concepto de nanomaterial o nanopartícula. China fue de los primeros países en dar el primer paso a las regulaciones de Asia, esto a través de la Academia de Ciencias China (CAS) creando en 2003 el Laboratorio para los Efectos Biomédicos de los Nanomateriales y la Nano-seguridad (LBENN), lo anterior debido a que la CAS reconoció los efectos toxicológicos y ambientales de la manufactura y consumo de los nanomateriales en 2001⁸². Posteriormente, China estableció el Comité Directivo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología (NSCNN por sus siglas en inglés *National Steering Committee for Nanoscience and Nanotechnology*, el cual revisó y definió los estándares adecuados para la nanotecnología en dicho país⁸³. Por su parte, Corea del Sur estableció una guía para el manejo seguro de los nanomateriales en 2008 y creó una iniciativa para la estandarización en la seguridad de materiales e información de seguridad para los nanomateriales apoyado por el Ministro del Conocimiento Económico de dicho país. Así mismo esto dio pauta para la creación posterior del Primer Plan Maestro para el Manejo de la Seguridad de los Nanomateriales 2012-2016⁸⁴. En el caso de Japón, recientemente la Agencia de Ciencia y Tecnología del país nipón publicó un análisis y revisión de la investigación y desarrollo de la nanotecnología

y materiales, donde se revisan las características de estos y las regulaciones que se han tomado en cuenta para el comercio de los mismos⁸⁵.

La nanotecnología en México

En el mundo existen alrededor de 2,500 empresas que se relacionan directamente con el campo de la nanotecnología. En 2006, los inicios del ramo nanotecnológico representó ingresos aproximados de 50 mil millones de dólares y la proyección a 2020 es de 250 mil millones anuales, por lo que es considerado uno de los segmentos más lucrativos, rentables y con mayor participación en el mercado mundial. Actualmente dicho mercado está mayormente dominado por Estados Unidos de América, Japón y Alemania con poco más del 50% del total a nivel mundial. En América Latina los países que lideran el ramo de la nanotecnología son Brasil, México y Argentina, siendo Brasil el que tiene mayores aportes⁸⁶.

En México, desde hace ya varios años rápidamente comenzó a expandirse la investigación en relación a la nanotecnología y con esto, la creación de empresas y productos que iniciaron con el uso de las nanopartículas. Desde el año 2008 tomó relevancia tanto en la comunidad científica como empresarial y con esto la incertidumbre en las regulaciones del uso de las nanoestructuras. Lo que conllevó a realizar el 6 el cual tuvo lugar en Guanajuato ese mismo año. En dicha reunión se llegaron a los primeros acuerdos del uso de las nanopartículas y su potencial riesgo a la salud, contando con la participación de investigadores Mexicanos, así como representantes de los gobiernos de Estados Unidos y la Unión Europea. Esto marcó la pauta para que en el año 2010 se creara el Consejo de Alto Nivel para la Cooperación Regulatoria entre México y Estados Unidos donde se establecieron las bases para la normatividad de los productos de base nanotecnológica. Sin embargo, no fue hasta 2015 que se crearon dos normas Mexicanas basadas en estándares internacionales (PROY-NMX-R-80004-5-SCFI-2015 y PROY-NMX-R-12901-1-SCFI-2015), mismas que refieren el uso y riesgo de diferentes nanomateriales respecto a su actividad biológica. Hasta el día de hoy la normativa en lo que respecta a la nanotecnología no está del todo completa pues aun quedan muchos nanomateriales por regular, sobre todo en su aplicación médica. No obstante, el sector científico y empresarial debe de tener mayor participación en dichas regulaciones para poder generar avances en materia legal y así facilitar la disponibilidad de nanomateriales para consumo humano^{87,88}.

Empresas que emplean nanotecnología en México

En México cada vez más son las empresas que emplean la nanotecnología de manera cotidiana. Desde el 2001, el gobierno de México incluyó las nanotecnologías en las políticas públicas de Ciencia y Tecnología. Con ello, poco a poco se ha ido regulando su uso. Al año 2012 se tenían registradas 86 empresas que usan nanotecnología en todo el país⁸⁹.

Los giros y ramos de dichas empresas son diversos como por ejemplo: producción de polímeros, fármacos, hules,

construcción, alimentos, automotriz, biotecnología, entre otros. Cuya producción u obtención de nanopartículas depende de cada actividad como se muestra en la Tabla S1⁹⁰.

Conclusión

Es importante que se tome en cuenta la implicación social, bioética, ambiental y de posibles reacciones adversas a la salud del uso y manejo de la nanotecnología que se desarrolla para su comercialización, sobre todo aquella que es de consumo humano. Es importante abrir paso a las nuevas tecnologías pues son una de las pautas para el crecimiento y desarrollo de un país. Por dicha razón también es indispensable señalar el uso de las mismas en los productos,

sobre todo aquellos que son de consumo humano, esto, además de generar un valor agregado también posiciona seguridad al consumidor. A pesar de los esfuerzos que se han hecho en México para impulsar y dar entrada a la nanotecnología, hoy en día aun existen huecos en la regulación del uso de la misma. Sobre todo, por el surgimiento de nuevos materiales nanoestructurados, que a diario se le otorgan nuevas características y aplicaciones para el consumo o contacto humano.

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de intereses en el presente trabajo

Referencias bibliográficas

- Vicky V. Mody, Rodney Siwale, Ajay Singh, Hardik R. Mody. Introduction to metallic nanoparticles. *J Pharm Bioallied Sci.* 2010;2(4):282-289.
- Maureen R. Gwinn, Val Vallyathan. Nanoparticles: Health Effects—Pros and Cons. *Environ Health Perspect.* 2006;114(12):1818-1825.
- Tian Xia, Ning Li, Andre E. Nel. Potential Health Impact of Nanoparticles. *Annual Review of Public Health.* 2009;30:137-150.
- Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella, M. F., Jr., Rejeski, D. and Hull, M. S. Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology.* 2015; 6: 1769-1780.
- Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G. Silver-nanoparticle-embedded antimicrobial paints based on vegetable oil. *Nat Mater.* 2008;7(3):236-41.
- Indraneel Das and Goutam De. Zirconia based superhydrophobic coatings on cotton fabrics exhibiting excellent durability for versatile use. *Sci Rep.* 2015;5:18503.
- Edina C. Wang and Andrew Z. Wang. Nanoparticles and their applications in cell and molecular biology. *Integr Biol (Camb).* 2014;6(1):9-26.
- Seifulla RD, Timofeev AB, Ordzhonikidze ZG, Rozhkova EA, Kulikova EV, Druzhinin AE, Kuznetsov IuM, Kim EK. Nanotechnology applications in pharmacology. *Eksp Klin Farmakol.* 2008;71(1):61-9.
- Pedro J. Rivero, Aitor Urrutia, Javier Goicoechea, and Francisco J. Arregui. Nanomaterials for Functional Textiles and Fibers. *Nanoscale Res Lett.* 2015;10:501.
- Bumbudsanpharoke N, Choi J, Ko S. Applications of Nanomaterials in Food Packaging. *J Nanosci Nanotechnol.* 2015;15(9):6357-72.
- Harjinder Singh. Nanotechnology Applications in Functional Foods; Opportunities and Challenges. *Prev Nutr Food Sci.* 2016;21(1):1-8.
- Haji Bahadar, Faheem Maqbool, Kamal Niaz, Mohammad Abdollahi. Toxicity of Nanoparticles and an Overview of Current Experimental Models. *Iran Biomed J.* 2016;20(1):1-11.
- Ibrahim Khan, Khalid Saeed, Idrees Khan. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Rania Bakry, Rainer M Vallant, Muhammad Najam-ul-Haq, Matthias Rainer, Zoltan Szabo, Christian W Huck, and Günther K Bonn. Medicinal applications of fullerenes. *Int J Nanomedicine.* 2007 Dec;2(4):639-649.
- Ali Eatemadi, Hadis Daraee, Hamzeh Karimkhanloo, Mohammad Kouhi, Nosratollah Zarghami, Abolfazl Akbarzadeh, Mozghan Abasi, Younes Hanifehpour, Sang Woo Joo. Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Res Lett.* 2014;9(1):393.
- Liangpeng Ge, Qingtao Li, Meng Wang, Jun Ouyang, Xiaojian Li, Malcolm MQ Xing. Nanosilver particles in medical applications: synthesis, performance, and toxicity. *Int J Nanomedicine.* 2014;9:2399-2407.
- Linlin Wang, Chen Hu, Longquan Shao. The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *Int J Nanomedicine.* 2017;12:1227-1249.
- Thomas SC, Harshita, Mishra PK, Talegaonkar S. Ceramic Nanoparticles: Fabrication Methods and Applications in Drug Delivery. *Curr Pharm Des.* 2015;21(42):6165-88.
- Jaya Mary Jacob, Piet N. L. Lens, Raj Mohan Balakrishnan. Microbial synthesis of chalcogenide semiconductor nanoparticles: a review. *Microb Biotechnol.* 2016; 9(1): 11-21.
- Sagadevan Suresh. Semiconductor Nanomaterials, Methods and Applications: A Review. *Nanoscience and Nanotechnology.* 2013; 3(3):62-74.
- Heneweer C, Gendy SE, Peñate-Medina O. Liposomes and inorganic nanoparticles for drug delivery and cancer imaging. *Ther Deliv.* 2012 May;3(5):645-56.
- Malam Y, Loizidou M, Seifalian AM. Liposomes and nanoparticles: nanosized vehicles for drug delivery in cancer. *Trends Pharmacol Sci.* 2009;30(11):592-9.
- Lu XY, Wu DC, Li ZJ, Chen GQ. Polymer nanoparticles. *Prog Mol Biol Transl Sci.* 2011;104:299-323.
- Vinit Kumar, Giuseppe Toffoli, Flavio Rizzolio. Fluorescent Carbon Nanoparticles in Medicine for Cancer Therapy. *ACS Med Chem Lett.* 2013;4(11):1012-1013.
- Shun-rong Ji, Chen Liu, Bo Zhang, Feng Yang, Jin Xu, Jiang Long, Chen Jin, De-liang Fu, Quan-xing Ni, Xian-jun Yu. Carbon nanotubes in cancer diagnosis and therapy. *Biochim Biophys Acta.* 2010;1806(1):29-35.
- Joan Estelrich, Maria Jesús Sánchez-Martín, Maria Antònia Busquets. Nanoparticles in magnetic resonance imaging: from simple to dual contrast agents. *Int J Nanomedicine.* 2015;10:1727-1741.
- Sophie Laurent, Morteza Mahmoudi. Superparamagnetic iron oxide nanoparticles: promises for diagnosis and treatment of cancer. *Int J Mol Epidemiol Genet.* 2011;2(4):367-390.
- Margaret M. Billingsley, Rachel S. Riley, Emily S. Day. Antibody-nanoparticle conjugates to enhance the sensitivity of ELISA-based detection methods. *PLoS One.* 2017;12(5):e0177592.
- Cheng FY, Chen CT, Yeh CS. Comparative efficiencies of photothermal destruction of malignant cells using antibody-coated silica@Au nanoshells, hollow Au/Ag nanospheres and Au nanorods. *Nanotechnology.* 2009;20(42):425104.
- Chan JM, Valencia PM, Zhang L, Langer R, Farokhzad OC. Polymeric nanoparticles for drug delivery. *Methods Mol Biol.* 2010;624:163-75.
- Rajan Jog Diane, J Burgess. Pharmaceutical Amorphous Nanoparticles. *J Pharm Sci.* 2017;106(1):39-65.
- Alex Weir, Paul Westerhoff, Lars Fabricius, Natalie von Goetz. Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products. *Environ Sci Technol.* 2012;46(4):2242-2250.
- Grande F, Tucci P. Titanium Dioxide Nanoparticles: a Risk for Human Health?. *Mini Rev Med Chem.* 2016;16(9):762-9.
- Carmen Losasso, Simone Belluco, Veronica Cibin, Paola Zavagnin, Ivan Mi eti, Federica Gallochio, Michela Zanella, Lisa Bregoli, Giancarlo Biancotto, Antonia Ricci. Antibacterial activity of silver nanoparticles: sensitivity of different Salmonella serovars. *Front Microbiol.* 2014;5:227.
- Chetan Sharma, Romika Dhiman, Namita Rokana, Harsh Panwar. Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging. *Front Microbiol.* 2017;8:1735.
- Ling Zhao, Yumeng Wei, Yu Huang, Bing He, Yang Zhou, Junjiang Fu. Nanoemulsion improves the oral bioavailability of baicalin in rats: in vitro and in vivo evaluation. *Int J Nanomedicine.* 2013;8:3769-3779.
- Weng T, Qi J, Lu Y, Wang K, Tian Z, Hu K, Yin Z, Wu W. The role of lipid-based nano delivery systems on oral bioavailability enhancement of fenofibrate, a BCS II drug: comparison with fast-release formulations. *J Nanobiotechnology.* 2014;12:39.
- Kyong-Hoon Choi, Ki Chang Nam, Sang-Yoon Lee, Guansup Cho, Jin-Seung Jung, Ho-Joong Kim, Bong Joo Park. Antioxidant Potential and Antibacterial Efficiency of Caffeic Acid-Functionalized ZnO Nanoparticles. *Nanomaterials (Basel).* 2017 Jun;7(6):148.
- He X, Hwang HM. Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment. *J Food Drug Anal.* 2016;24(4):671-681.
- Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect.* 2005;113(7):823-39.
- Griffin S, Masood MI, Nasim MJ, Sarfraz M, Ebokaiwe AP, Schäfer KH, Keck CM, Jacob C. Natural Nanoparticles: A Particular Matter Inspired by Nature. *Antioxidants (Basel).* 2017 Dec 29;7(1). pii: E3. doi: 10.3390/antiox7010003.
- Pourmand A, Abdollahi M. Current opinion on nanotoxicology. *Daru.* 2012 Dec 15;20(1):95.
- Vishwakarma V, Samal SS, Manoharan N. Safety and risk associated with nanoparticles-a review. *Journal of minerals and materials characterization and engineering.* 2010;9(5):455.
- Pan Y, Bartneck M, Jahnen-Dechent W. Cytotoxicity of gold nanoparticles. *Methods Enzymol.* 2012;509:225-42.
- Rebecca Kessler. Engineered Nanoparticles in Consumer Products: Understanding a New

- Ingredient. *Environ Health Perspect.* 2011;119(3):A120-A125.
46. Jain S, Hirst DG, O'Sullivan JM. Gold nanoparticles as novel agents for cancer therapy. *Br J Radiol.* 2012 Feb; 85(1010):101-13.
 47. Muhammad U. Farooq, corresponding author1 Valentyn Novosad,2,3 Elena A. Rozhkova, Hussain Wali, Asghar Ali, Ahmed A. Fateh, Purnima B. Neogi, Arup Neogi, Zhiming Wang. Gold Nanoparticles-enabled Efficient Dual Delivery of Anticancer Therapeutics to HeLa Cells. *Sci Rep.* 2018;8:2907.
 48. Boisselier E, Astruc D. Gold nanoparticles in nanomedicine: preparations, imaging, diagnostics, therapies and toxicity. *Chem Soc Rev.* 2009;38(6):1759-82.
 49. Aruoja V, Dubourguier HC, Kasemets K, Kahru A. Toxicity of nanoparticles of CuO, ZnO and TiO2 to microalgae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Sci Total Environ.* 2009;407(4):1461-8.
 50. In-Chul Lee, Je-Won Ko, Sung-Hyeuk Park, Je-Oh Lim, In-Sik Shin, Changjong Moon, Sung-Hwan Kim, Jeong-Doo Heo, Jong-Choon Kim. Comparative toxicity and biodistribution of copper nanoparticles and cupric ions in rats. *Int J Nanomedicine.* 2016;11:2883-2900.
 51. Chen Z, Meng H, Xing G, Chen C, Zhao Y, Jia G, Wang T, Yuan H, Ye C, Zhao F, Chai Z, Zhu C, Fang X, Ma B, Wan L. Acute toxicological effects of copper nanoparticles in vivo. *Toxicol Lett.* 2006;163(2):109-20.
 52. Meng H, Chen Z, Xing G, Yuan H, Chen C, Zhao F, Zhang C, Zhao Y. Ultrahigh reactivity provokes nanotoxicity: explanation of oral toxicity of nano-copper particles. *Toxicol Lett.* 2007;175(1-3):102-10.
 53. Vazquez-Muñoz R, Borrego B, Juárez-Moreno K, García-García M, Mota Morales JD, Bogdanchikova N, Huerta-Saqueró A. Toxicity of silver nanoparticles in biological systems: Does the complexity of biological systems matter?. *Toxicol Lett.* 2017;276:11-20.
 54. Chen X, Schluesener HJ. Nanosilver: a nanoparticle in medical application. *Toxicol Lett.* 2008; 176(1):1-12.
 55. Sambale F, Wagner S, Stahl F, Khaydarov R, Scheper T, Bahnemann D. Investigations of the Toxic Effect of Silver Nanoparticles on Mammalian Cell Lines. *Journal of Nanomaterials* 2015; 2015:9. Article ID 136765. <https://doi.org/10.1155/2015/136765>.
 56. Kim KB, Kim YW, Lim SK, Roh TH, Bang DY, Choi SM, Lim DS, Kim YJ, Baek SH, Kim MK, Seo HS, Kim MH, Kim HS, Lee JY, Kacew S, Lee BM. Risk assessment of zinc oxide, a cosmetic ingredient used as a UV filter of sunscreens. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2017;20(3):155-182.
 57. Huang CC, Aronstam RS, Chen DR, Huang YW. Oxidative stress, calcium homeostasis, and altered gene expression in human lung epithelial cells exposed to ZnO nanoparticles. *Toxicol In Vitro.* 2010; 24(1):45-55.
 58. Chao Wang, Jianjun Lu, Le Zhou, Jun Li, Jiaman Xu, Weijian Li, Lili Zhang, Xiang Zhong, Tian Wang. Effects of Long-Term Exposure to Zinc Oxide Nanoparticles on Development, Zinc Metabolism and Biodistribution of Minerals (Zn, Fe, Cu, Mn) in Mice. *PLoS One.* 2016;11(10):e0164434.
 59. Sharma V, Singh P, Pandey AK, Dhawan A. Induction of oxidative stress, DNA damage and apoptosis in mouse liver after sub-acute oral exposure to zinc oxide nanoparticles. *Mutat Res.* 2012;745(1-2):84-91.
 60. Liu R, Zhang X, Pu Y, Yin L, Li Y, Zhang X, Liang G, Li X, Zhang J. Small-sized titanium dioxide nanoparticles mediate immune toxicity in rat pulmonary alveolar macrophages in vivo. *J Nanosci Nanotechnol.* 2010;10(8):5161-9.
 61. Liu H, Ma L, Zhao J, Liu J, Yan J, Ruan J, Hong F. Biochemical toxicity of nano-anatase TiO2 particles in mice. *Biol Trace Elem Res.* 2009;129(1-3):170-80.
 62. Panyam J, Labhasetwar V. Biodegradable nanoparticles for drug and gene delivery to cells and tissue. *Adv Drug Deliv Rev.* 2003;55(3):329-47.
 63. Rashmi H Prabhu, Vandana B Patravale, Medha D Joshi. Polymeric nanoparticles for targeted treatment in oncology: current insights. *Int J Nanomedicine.* 2015;10:1001-1018.
 64. Grabowski N, Hillaireau H, Vergnaud J, Tsapis N, Pallardy M, Kerdine-Römer S, Fattal E. Surface coating mediates the toxicity of polymeric nanoparticles towards human-like macrophages. *Int J Pharm.* 2015;482(1-2):75-83.
 65. Huczko A. Synthesis of aligned carbon nanotubes. *Journal of applied physics.* 2001;74:617-638.
 66. Magrez A, Kasas S, Salicio V, Pasquier N, Seo JW, Celio M, Catsicas S, Schwaller B, Forró L. Cellular toxicity of carbon-based nanomaterials. *Nano Lett.* 2006;6(6):1121-5.
 67. Ping Xie, Sheng-Tao Yang, Tiantian He, Shengnan Yang, Xiao-Hai Tang. Bioaccumulation and Toxicity of Carbon Nanoparticles Suspension Injection in Intravenously Exposed Mice. *Int J Mol Sci.* 2017; 18(12):2562.
 68. Natalia Kurantowicz, Ewa Sawosz, Gabriela Halik, Barbara Strojny, Anna Hotowy, Marta Grodzik, Radoslaw Piast, Wanvimol Pasanphan, André Chwalibog. Toxicity studies of six types of carbon nanoparticles in a chicken-embryo model. *Int J Nanomedicine.* 2017;12:2887-2898.
 69. Herzog E, Casey A, Lyng FM, Chambers G, Byrne HJ, Davoren M. A new approach to the toxicity testing of carbon-based nanomaterials--the clonogenic assay. *Toxicol Lett.* 2007;174(1-3):49-60.
 70. Poland CA, Duffin R, Kinloch I, Maynard A, Wallace WA, Seaton A, Stone V, Brown S, Macnee W, Donaldson K. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nat Nanotechnol.* 2008; 3(7):423-8.
 71. Barbara Strojny, Natalia Kurantowicz, Ewa Sawosz, Marta Grodzik, S awomir Jaworski, Marta Kutwin, Mateusz Wierzbicki, Anna Hotowy, Ludwika Lipi ska, André Chwalibog. Long Term Influence of Carbon Nanoparticles on Health and Liver Status in Rats. *PLoS One.* 2015;10(12):e0144821.
 72. Global Market Insights. Carbon Nanotubes Market Size by Product. [Consultado 2018 Septiembre 06] [C o n s u l t a d o e n : https://www.gminsights.com/industry-analysis/carbon-nanotubes-market](https://www.gminsights.com/industry-analysis/carbon-nanotubes-market)
 73. Wilczewska AZ, Niemirowicz K, Markiewicz KH, Car H. Nanoparticles as drug delivery systems. *Pharmacol Rep.* 2012;64(5):1020-37.
 74. Caixia Guo, YinYe Xia, Piye Niu, Lizhen Jiang, Junchao Duan, Yang Yu, Xianqing Zhou, Yanbo Li, Zhiwei Sun. Silica nanoparticles induce oxidative stress, inflammation, and endothelial dysfunction in vitro via activation of the MAPK/Nrf2 pathway and nuclear factor-kB signaling. *Int J Nanomedicine.* 2015;10:1463-1477.
 75. EPA United States Environmental Protection Agency. Reviewing New Chemicals under the Toxic Substances Control Act (TSCA). Fact Sheet: Nanoscale Materials. [Consultado 2018 septiembre 6]. Disponible en: <https://www.epa.gov/reviewing-new-chemicals-under-toxic-substances-control-act-tsc/fact-sheet-nanoscale-materials>
 76. EPA United States Environmental Protection Agency. Laws & Regulations. Summary of the Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act. 7 U.S.C. §136 et seq. (1996). [Consultado 2018 septiembre 6]. Disponible en: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-federal-insecticide-fungicide-and-rodenticide-act>
 77. FDA U.S. Food & Drug Administration. FDA's Approach to Regulation of Nanotechnology Products. [Consultado 2018 Septiembre 06]. Disponible en: <https://www.fda.gov/scienceresearch/specialtopics/nanotechnology/ucm301114.htm>
 78. ECHA European Chemicals Agency. Nanomaterials. [Consultado 2018 Septiembre 06]. Disponible en: <https://echa.europa.eu/regulations/nanomaterials>
 79. ANSES Agencia Nacional de Seguridad Sanitaria, Alimentación, Medio Ambiente y Trabajo. Declaración de Nanomateriales. [Consultado 2018 Septiembre 07]. Disponible en: <https://www.rnano.fr/?locale=en>
 80. Federal Ministry of Education and Research. High Tech Strategy. Action Plan Nanotechnology 2015. [Consultado 2018 Septiembre 07]. Disponible en: https://www.laif.berlin.de/homepages/nitsch/publikationen/Germany_ActionPlanNanotechnology_2015.pdf
 81. Federal Ministry of Education and Research. The New High Tech Strategy. Action Plan Nanotechnology 2020. [Consultado 2018 Septiembre 07]. Disponible en: https://www.bmbf.de/pub/Action_Plan_Nanotechnology.pdf
 82. Key Laboratory for Biomedical Effects of Nanomaterials and Nanosafety. Chinese Academy of Sciences. [Consultado 2018 Septiembre 07]. Disponible en: <http://english.nanosafety.cas.cn/au/intro/>
 83. Chunli Bai. Ascent of Nanoscience in China. *Science* 2005; 309(5731): 61-63.
 84. Ji Hyun Lee, Jun Yeob Lee, and Il Je Yu. Developing Korean Standard for Nanomaterial Exposure Assessment. *Toxicol Res.* 2011; 27(2): 53-60.
 85. Center for Research and Development Strategy. Japan Science and Technology Agency. Nanotechnology and Materials R&D in Japan (2018): An Overview and Analysis. [Consultado 2018 Septiembre 07]. Disponible en: <https://www.jst.go.jp/crds/en/>
 86. Kessler R. Nanopartículas modificadas en productos de consumo: Cómo entender un nuevo ingrediente. *Salud Pública de México* 2014;54(1):79-86.
 87. Foladori G, Arteaga E, Zagayo E, Appelbaum R, Robles-Belmont E, Villa LL, Parker R, Leos. La Política Pública de Nanotecnología en México. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* 2017; 12(34): 51-64.
 88. Palacios Hernández, Teresa. Regulación en el uso de la nanotecnología aplicada a la salud en México: situación actual y perspectivas. UDLAP 2017. [Consultado 2018 Diciembre 01]. Disponible en: <https://cegresados.udlap.mx/regulacion-en-el-uso-de-la-nanotecnologia-aplicada-a-la-salud-en-mexico-situacion-actual-y-perspectivas/>
 89. Suazo Debernardi, Blanca. "Nanotecnología en México". *GestioPolis*. marzo 26, 2018. [Consultado el 13 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/nanotecnologia-en-mexico/>
 90. Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México. Secretaría de Economía 2008. [Consultado 2018 Noviembre 10]. Disponible en: <http://www.nanored.org.mx/documentos/diagnostico%20y%20prospectiva%20nanotecnologia%20en%20mexico.pdf>