



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto
Politécnico Nacional

Programa de Doctorado Transdisciplinario en Desarrollo
Científico y Tecnológico para la Sociedad

Proyecto de Tema de Tesis

"Análisis de las tecnologías empleadas en la generación de
nanomateriales: Aprovechamiento, usos e impactos ambientales"

Elaboró: Sein León Silva

Directores: Dr. Fabián Fernández Luqueño
Dr. Fernando López Valdez

Asesores: Dra. María Soledad Vásquez Murrieta
Dr. José Gerardo Cabañas Moreno
Dr. Luis Alfonso Maldonado López
Dr. Víctor Manuel Ruiz Valdiviezo

Fecha: Junio-2014

Índice

Índice de Tablas.....	2
Índice de Figuras	2
Notación.....	2
Introducción.....	3
Objetivos General y Particular.....	5
Preguntas de Investigación	6
Justificación.....	7
Fundamentación Teórica.....	8
Hipótesis.....	12
Alcance.....	13
Metodología.....	13
Material de Estudio.....	14
Productos esperados de la Investigación	15
Contribuciones esperadas de la tesis	15
Cursos Optativos.....	16
Riesgos de viabilidad.....	16
Cronograma de Actividades.....	17
Referencias.....	18

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Figura

- 1 Richard Feynman. Premio nobel de física 1959.

Notación

CE Comisión Europea

NM Nanomaterial

NMX's Normas Mexicanas

NOM's Normas Oficiales Mexicanas

NP Nano partícula

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

QD's Puntos Cuánticos

UE Unión Europea

Introducción

El termino nanotecnología se utiliza para definir las ciencias y técnicas que abarcan la creación, procesado, caracterización y utilización de materiales, mecanismos y sistemas a escala nanométrica; es decir, con un tamaño del orden de una milmillonésima parte del metro⁽¹⁾.

Hoy en día, los materiales creados a esta escala, denominados de forma general, nano materiales o materiales nanométricos, suponen una gran novedad respecto a los materiales tradicionales, principalmente por sus características físicas, químicas y biológicas, dado su pequeño tamaño (1 a 100 milmillonésimas de metro), sin embargo no se trata de una simple extrapolación de las propiedades del material a un elemento extremadamente pequeño. En el rango nanométrico, el aumento de la superficie por unidad de volumen aumenta drásticamente y este efecto es el responsable de las propiedades únicas de la nanoescala.

Esto abre inmensas posibilidades para innovaciones en las industrias médica, biotecnológica, automotriz, aeronáutica, minería, construcción y muchos otros sectores económicos⁽²⁾. De hecho, en el mercado actual existen cada vez más productos que integran nanomateriales, desde cremas hidratantes, bloqueadores solares, dispositivos electrónicos, prendas de vestir y hasta pinturas, que ofrecen ser más eficientes, requerir de un mantenimiento mínimo, y generar un gran ahorro de peso, todo esto con un menor costo de elaboración, dada la disminución de consumo energético y el material requerido en su fabricación.

El dato más reciente del inventario de productos de consumo con nanotecnología del Centro Internacional Woodrow Wilson y el Centro Tecnológico de Virginia reportan 1,628 productos, lo que representa un aumento del 24% desde la última actualización en 2010⁽³⁾. Este aumento en la producción implica una gran inversión por parte del sector industrial y gubernamental en la creación, desarrollo y

producción de nanomateriales, lo que convierte a México en el lugar ideal para desarrollar una industria, por su cercanía a Estados Unidos, principal inversor en este sector⁽⁴⁾, para la formación de una industria nanotecnológica exitosa, siempre y cuando se evalúen las condiciones de beneficio–costo en la implantación de este sector manufacturero.

Además la posibilidad de construir dispositivos en miniatura, también ha dado lugar al surgimiento de expectativas en que la precisión de la nanomanufacturación originará menos residuos y procesos mucho más limpios.

Pero, ¿será del todo cierto que esta precisión y altos requerimientos de la infraestructura, así como todos los procesos secundarios necesarios para la elaboración de nanomateriales disminuirán la contaminación ocasionada por los procesos regulares?

En este trabajo se pretenden revisar algunos métodos y procesos de fabricación de los nanomateriales, destacando sus principales características y requerimientos, procedimientos secundarios como la obtención de la materia prima y todas las fases de transformación hasta convertirse en un producto final, sus principales ventajas y desventajas, así como las externalidades positivas o negativas que influyen y afectan, para así poder determinar cuál de ellos sería el más apropiado para desarrollar una industria nanotecnológica en México, acorde a las condiciones sociales, económicas, políticas y ambientales de nuestro país.

Planteamiento del Problema

Objetivo principal y particulares

Objetivo general

Estudiar y analizar algunos métodos y procesos de fabricación de nanomateriales, destacando las principales características y requerimientos de los procesos secundarios, así como los factores que influyen sobre la posibilidad de implantar la industria nanotecnológica en México dañando lo menos posible el medio ambiente.

Objetivos particulares

- Identificar y estudiar Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), Normas Mexicanas (NMX's) o restricciones existentes en México para la elaboración de nanomateriales.
- Conocer las reglamentaciones o normas relacionadas a la manufactura de nanomateriales que han desarrollado otros países.
- Analizar los programas existentes de inversión, operación e impacto de la industria nanotecnológica en México.
- Examinar las consecuencias políticas, económicas, sociales y ambientales de la producción de nanomateriales en otros países.
- Identificar la tecnología necesaria y los impactos que conllevaría la elaboración de nanomateriales en México.

Preguntas de Investigación

- 1) ¿Qué efectos conlleva la producción de nano materiales (procesos de manufactura)?
- 2) ¿Qué impactos sociales, económicos y políticos surgen donde se implanta la industria nanotecnológica (externalidades positivas y negativas)?
- 3) ¿El costo de producción y la eficiencia de los nanomateriales tienen ventajas significativas comparadas con los materiales manufacturados a través de procesos tradicionales (costo-beneficio)?
- 4) ¿Qué reglamentaciones en la materia existen en México?
- 5) ¿Con qué programas públicos de inversión, operación y revisión cuenta México actualmente, y cuáles son los resultados de éstos?
- 6) ¿Qué restricciones y normas nacionales e internacionales se tienen en la elaboración de nanomateriales?
- 7) ¿Qué recursos tecnológicos se necesitarían y con cuáles cuenta México para lograr la implementación de una industria nanotecnológica exitosa?

Justificación

Aunque las ganancias derivadas del uso de nanomateriales y su impacto sobre la economía mundial durante los próximos años llegará a ser de varios billones de euros⁽⁵⁾, estas podrían convertirse en grandes pérdidas en parte, por los procesos necesarios para fabricarlos.

Los requisitos estrictos en la pureza de los materiales, las tolerancias más bajas para los defectos y los procesos de producción con rendimientos más pequeños, pueden originar mayores cargas medio-ambientales que los procesos asociados a la fabricación convencional⁽⁶⁾.

Un estudio sobre la producción de nano fibras de carbono⁽⁷⁾, encontró, que las consecuencias medio ambientales de su ciclo de vida pueden ser hasta 100 veces superiores, por unidad de peso, con respecto al de los materiales comunes, perdiéndose potencialmente las ventajas medio ambientales derivadas del pequeño tamaño de los nanomateriales.

Es entonces que surge la cuestión "Hasta ahora, se ha prestado más atención a los posibles efectos tóxicos derivados de la exposición a los nanomateriales, pero también se necesita hacer consideraciones ambientales, energéticas, sociales y económicas de las tecnologías utilizadas para su producción", (Gus Speth, decano de la Escuela de Yale en Estudios Ambientales y Forestales).

Dado que, existen externalidades, las cuales se definen como decisiones de consumo, producción e inversión que toman los individuos, los hogares y las empresas conllevan efectos indirectos que repercuten a terceros, sin que el precio del producto refleje estas afectaciones, un ejemplo de estas externalidades es la contaminación. Por ende, las rentabilidades y los costes privados son diferentes de los que asume la sociedad en su conjunto ⁽⁸⁾.

Esta situación lleva a las industrias a minimizar o negar los posibles riesgos que una nueva tecnología puede implicar, porque los intereses privados así como las ganancias personales obtenidas justifican las pérdidas sociales, económicas y ambientales que pudiera sufrir la comunidad, es así que México se encuentra en una situación vulnerable.

Aunque la investigación en cuanto a las propiedades de los nanomateriales va en aumento⁽⁹⁾, aún existen grandes lagunas en nuestro conocimiento de los posibles riesgos que presentan en su elaboración. Es por ello que esta investigación pretende la realización de un primer análisis que permita la toma de decisiones y consideraciones oportunas para el desarrollo de una industria nanotecnológica sustentable en el país considerando los factores antes mencionados.

Fundamentación teórica

El concepto inicial de la investigación de materiales y sistemas biológicos a nano escala, data de hace más de 40 años, cuando Richard Feynman, presenta una conferencia en 1959 en la reunión anual de la Sociedad Americana de Física en el Instituto Tecnológico de California (Fig. 1). En su lectura, titulada “There`s plenty of room at the bottom“(Hay mucho espacio en el fondo)⁽¹⁰⁾, es considerada la primera mirada al mundo de los materiales, especies y estructuras a nivel nanoescalar.



Figura 1. Richard Feynman, Premio Nobel de Física en 1959

“¿Por qué no podemos escribir los 24 volúmenes de la enciclopedia Británica sobre la cabeza de un alfiler?” Esta es una de las cuestiones que Feynman planteaba. “La cabeza de un alfiler presenta un diámetro de unos 1.6 mm. Si este diámetro lo multiplicamos por 25000, el área que representaría sería equivalente a la superficie de todas las páginas de la Enciclopedia Británica (~ 1256.6 m²). Sería entonces necesario reducir el tamaño de la Enciclopedia 25000 veces. ¿Es eso posible? La resolución del ojo es aproximadamente de 0.2 mm, que es aproximadamente el diámetro de los pequeños puntos que forman las reproducciones de la Enciclopedia. Si se reduce el tamaño 25000 veces, el diámetro de los puntos de las reproducciones sería de unos 80 Å (80x10⁻¹⁰ m), que equivale al diámetro de 32 átomos de un metal. Dicho de otro modo, cada uno de esos puntos que forman las letras podrían contener hasta 1000 átomos de un metal. Por tanto, sería fácil ajustar el tamaño de cada punto a nivel atómico mediante una técnica de fotograbado. De esta manera, no cabe duda de que hay espacio suficiente en la cabeza de un alfiler para poder escribir toda la Enciclopedia Británica”

Fue aquí donde propuso fabricar productos con base en un reordenamiento de átomos y moléculas. El físico escribió también un artículo que analizaba cómo las computadoras trabajando con átomos individuales podrían consumir muy poca energía y conseguir velocidades asombrosas. Pero para esa fecha, no se habían desarrollado las técnicas instrumentales que permitirían, no sólo observar, sino manipular la materia a escala nanométrica. Por lo que su pensamiento no tuvo un gran recibimiento por parte de los científicos de su tiempo y no logró la repercusión que merecía hasta que se consiguieron los avances tecnológicos que permitieron vislumbrar el universo nanométrico que predecía.

Otros físicos teóricos como Ralph Landauer entre otros, tuvieron ideas sobre la electrónica a escala nanométrica y predijeron la importancia que los efectos cuánticos tendrían en tales dispositivos. A partir de los años 60 la fabricación de nano materiales creció exponencialmente, destacando los fluidos magnéticos (ferrofluidos) que estaban formados por nano partículas magnéticas dispersas en líquidos.

En los años 70 tanto en los laboratorios de Bell como en los de IBM se sintetizaron los primeros “pozos cuánticos bidimensionales”. Utilizando una técnica de crecimiento epitaxial lograron una fina película semiconductora construida átomo a átomo. Este trabajo supuso el inicio del desarrollo de los quantum dots (puntos cuánticos, QD’s) que actualmente constituyen una rama de la nanotecnología con aplicaciones tecnológicas muy avanzadas^(11,12).

Y fue hasta 1974 cuando el termino Nanotecnología se usó por primera vez por parte del investigador japonés Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio con la finalidad de describir los procesos de manipulación de la materia a nivel atómico y molecular en busca de una mejora en la ciencia de los materiales.

Su definición consistía básicamente en procesos de deformación, consolidación y separación de materiales átomo a átomo y molécula a molécula⁽¹³⁾.

En la década de los 80 fue cuando se produjo un gran avance en el área de la nanotecnología debido al desarrollo de nuevas técnicas que permitían profundizar en la estructura de los nanomateriales, entre ellas se puede citar la Microscopia de Efecto Túnel (STM), y la Microscopia de Fuerza Atómica (AFM); así como otros métodos para la obtención de nanoestructuras, como es el caso de la vaporización de metales utilizando un láser que permite obtener nano partículas de diversos tamaños.

A partir del desarrollo de estas técnicas fue que se desarrolló la investigación en síntesis de nanopartículas. Por ejemplo las derivadas del carbón, dentro de las que destacan los fullerenos, C₆₀ (~ 1 nm de diámetro) sintetizados por primera vez en el año 1985 por Smalley, Kroto y Curl⁽¹⁴⁾. El fullereno más conocido es el *buckminsterfullereno*, formado por 60 átomos de carbono, en el que ninguno de los pentágonos que lo componen comparte ningún lado.

Fue en el año de 1987 cuando un estudiante del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Eric Drexler, publico su tesis con el título de Engines of Creation (Los motores de la creación)⁽¹⁵⁾ donde argumento la posibilidad de crear sistemas de ingeniería a nivel molecular y su impacto que tendrían en la vida cotidiana y en varias ramas de la ciencia, popularizando así la nanotecnología.

En la actualidad, Drexler continúa trabajando en Nano tecnología, sobre todo en la creación de nanobots (robots contruidos a escala molecular). *“La nanotecnología es la habilidad, cada vez más desarrollada, de fabricar materiales y productos con una precisión molecular. Cada átomo está situado específicamente, en una posición diseñada de antemano”*⁽¹⁶⁾.

A comienzos de los noventa, se produjo un nuevo giro con la síntesis de los nanotubos de carbono (CNT) por Sumio Iijima⁽¹⁷⁾. Esto generó un cambio radical pues, estos materiales, compuestos únicamente por carbono, se comportan como semiconductores, además de presentar superconductividad en determinadas condiciones. Adicionalmente presentan extraordinarias propiedades mecánicas, dado que son 100 veces más resistentes que el acero y 6 veces menos pesado que éste. Actualmente estos materiales se encuentran en desarrollo para aplicarlos en diferentes industrias como la espacial, automovilística y energética.

Esto nos muestra que la nanotecnología es un terreno en un constante descubrimiento y desarrollo puesto que todos los campos de la ciencia (desde la exploración espacial hasta el diseño biomolecular) puede beneficiarse de ésta.

Hipótesis

La instalación y puesta en marcha de la industria manufacturera nanotecnológica en México es viable siempre y cuando se establezcan las bases de análisis adecuadas y se tengan en consideración los factores y actores involucrados, actuando así como un posible detonador social y económico.

Alcance

Se propone hacer una revisión bibliográfica en ISI-Web of Knowledge desde 2005 a la fecha para obtener datos acerca de los procesos de manufactura de los nanomateriales.

Con los datos que se obtengan se elaborarán tablas y graficas sobre las ventajas y desventajas de cada proceso, así como los requerimientos de costo- beneficio. Esto nos permitirá analizar y posteriormente evaluar las condiciones necesarias para la viabilidad de desarrollar la industria nanotecnológica en México.

Tomando en cuenta todos los factores que influyen en la producción y que posteriormente se ven reflejados en la situación económica, social y ambiental de una comunidad.

Metodología

Esta investigación utilizará de una metodología cualitativa. Donde se valdrá de las entrevistas y cuestionarios a actores clave como empresarios, funcionarios gubernamentales y expertos investigadores los cuales serán seleccionados, una vez que se conozcan las regulaciones que existen en el país, así como las entidades con mayor participación en el sector industrial y tecnológico.

Para el análisis se utiliza también información oficial que se solicitara directamente a agencias gubernamentales como el CONACYT, la Secretaría de Economía, la Secretaría de Desarrollo Social, la Secretaria del Trabajo y Previsión Social y la Secretaría de Educación Pública. De forma paralela se realizara un estudio de caso y una serie de visitas que permitan analizar, determinar y evaluar los posibles riesgos y beneficios que implican la producción de nanomateriales en México.

La estrategia a seguir se detalla a continuación:

- Investigación bibliográfica sobre los métodos de producción de nanomateriales.
- Investigación bibliográfica sobre reglamentaciones en la producción, uso e impacto en otros países, así como convenciones internacionales y nacionales sobre el tema.
- Investigación bibliográfica de normas existentes sobre la producción de nanomateriales.
- Estudios del riesgo social y ambiental.
- Investigación bibliográfica de los programas de inversión y operación para los nanomateriales en México.

Material de estudio

- Artículos científicos de estudios ambientales, políticos, económicos y biotecnológicos sobre nanomateriales, las tecnologías empleadas para su producción e impacto social.
- Informes gubernamentales relacionados con la creación de nanomateriales, su evaluación, uso y disposición.
- Reglamentaciones de otros países sobre las tecnologías usadas en la creación nanomateriales.
- Convenciones internacionales y nacionales sobre nanomateriales.

- Reglamentación nacional sobre nanomateriales.
- Entrevistas a personal clave del gobierno, empresarial y del sector educativo.

Productos esperados de la investigación

- Se planea la publicación de tres artículos.
- La tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias.
- La participación en congresos o pláticas relacionadas con el tema de investigación.
- Evaluar cuáles de los procesos que se necesitan para crear nanomateriales son menos costosos y más eficientes que los convencionales y además evaluar si a las comunidades a donde llegan en verdad se ven beneficiadas con esta industria.

Contribuciones esperadas de la tesis

- Evaluación del status tecnológico en el campo de la nanotecnología y nanociencia, que hasta ahora no existe en México.
- Analizar las aportaciones en la regulación y evaluación de los procesos de elaboración de nanomateriales.

- Mostrar las ventajas y desventajas de los instrumentos económicos, sociales y ambientales en la elaboración de nanomateriales.

Cursos Optativos

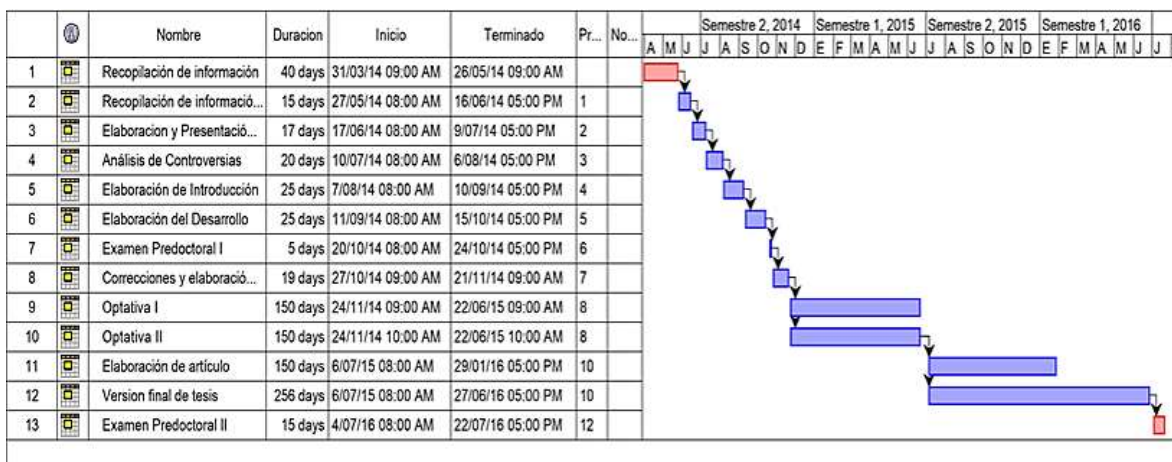
- Se ha visto la posibilidad de inscribirme a un curso en el Programa de Doctorado de Sociología de la UAM-AZC en la asignatura de Sociedad y Nuevas Tecnologías. (previo acuerdo con los directores)
- Se planea cursar otra materia previa discusión de qué tipo de curso sería conveniente.

Riesgos de viabilidad

Existen principalmente dos restricciones en la investigación.

- 1) La obtención oportuna de las respuestas a entrevistas y cuestionarios, ya que muchas veces en los estudios sociales se presentan sesgos y problemas de fiabilidad en las respuestas.
- 2) La poca o nula información en el caso de México, dada la dificultad de obtener datos oficiales.

Calendario de Actividades



No.	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado
1	Recopilación de información	40 days	31/03/14 09:00 AM	26/05/14 09:00 AM
2	Recopilación de informaci...	15 days	27/05/14 08:00 AM	16/06/14 05:00 PM
3	Elaboracion y Presentació...	17 days	17/06/14 08:00 AM	9/07/14 05:00 PM
4	Análisis de Controversias	20 days	10/07/14 08:00 AM	6/08/14 05:00 PM
5	Elaboración de Introducción	25 days	7/08/14 08:00 AM	10/09/14 05:00 PM
6	Elaboración del Desarrollo	25 days	11/09/14 08:00 AM	15/10/14 05:00 PM
7	Examen Predoctoral I	5 days	20/10/14 08:00 AM	24/10/14 05:00 PM
8	Correcciones y elaboració...	19 days	27/10/14 09:00 AM	21/11/14 09:00 AM
9	Optativa I	150 days	24/11/14 09:00 AM	22/06/15 09:00 AM
10	Optativa II	150 days	24/11/14 10:00 AM	22/06/15 10:00 AM
11	Elaboración de artículo	150 days	6/07/15 08:00 AM	29/01/16 05:00 PM
12	Version final de tesis	256 days	6/07/15 08:00 AM	27/06/16 05:00 PM
13	Examen Predoctoral II	15 days	4/07/16 08:00 AM	22/07/16 05:00 PM

*Nota.

El calendario de actividades esta sujeto a cambios. Archivo modificable para Diagrama de Gantt y Ruta Critica en Project.

Referencias

- (1) Poole, C.P; Owens, F. J., *Introducción a la Nanotecnología*, Ed. Reverté, 2007, p.1
- (2) Comisión Europea para las Nanotecnologías. “Hacia una Estrategia Europea para las Nanotecnologías”, 2004
- (3) Reporte de Inversión Global en las Nanotecnologías y su impacto. Científica Ltd, 2011.
- (4) Proyecto para las Nano tecnologías Emergentes. Inventario de Productos de Consumo. 2014.
- (5) Simposio sobre la evaluación del impacto socio-económico de la nanotecnología. Marzo, 2012.
- (6) Hatice Şengül; Thomas L. Theis; Siddhartah Ghosh. Revista de Ecología Industrial. “Hacia los nano productos sostenibles, una mirada a los métodos de nano manufactura”. Universidad de Yale, 2008.
- (7) Vikas Khanna; Bhavik R. Bakshi; L. James Lee. Revista de Ecología Industrial. “Consumo de energía durante el ciclo de vida y el impacto ambiental”. Universidad de Yale, 2008.
- (8) Desarrollo y Finanzas. Fondo Monetario Internacional. Diciembre 2010 Vol 47 No. 4
- (9) Roco, Mihail C.; Mirkin, Chad A.; Hersam, Mark C., Resumen de estudio internacional. “Direcciones en la investigación de nanotecnología para las necesidades de la sociedad en 2020”, Springer, 2011.
- (10) Feynman R: Hay suficiente espacio en el fondo. Ciencia e Ingeniería 1960, pp. 22-36.
- (11) Shelley, T., Nanotecnología: Nuevas promesas, nuevos peligros. Ed. El viejo topo, 2006, p.9
- (12) Alejo, T.; Merchán, M.D.; Velázquez, M.M.; Pérez-Hernández, J.A., Mat. Chem. Phys., 2013, pp. 138, 286
- (13) Taniguchi, N, "On the Basic Concept of 'Nano-Technology'," Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974

- (14) Kroto, H.W.; Heath, J.R.; O'Brien, S.C.; Curl, R.F.; Smalley, R.E., Nature, 1985, 318, 14
- (15) Eric Drexler. La nanotecnología. El surgimiento de las máquinas de creación. Gedisa Editorial, Barcelona, 1993.
- (16) Entrevista Revista MUY Interesante. Publicada en febrero de 1997, número 189.
- (17) Lijima, S., Nature, 1991, 354, 56

Información de la web

<http://www.nanotechproject.org/> Proyecto de Nanotecnologías Emergentes.

<http://www.nano.gov/> Iniciativa Nacional en Nanotecnología de E.U.A.

<http://www.nanotechproject.org/cpi/> Compendio con los principales productos en el mercado con sus propiedades. (octubre 2013)

<http://www.vertigopolitico.com/articulo/13162/Nanotecnologa-olvidada-y-sin-plan-de-desarrollo-en-nuestro-pas> Reportaje Mayo 2013.

Simposio sobre la evaluación del impacto socio-económico de la nanotecnología. Marzo 2012.

http://www.oecd.org/sti/nano/Washington%20Symposium%20Report_final.pdf

<http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2010/12/pdf/fd1210.pdf> Fondo Monetario Internacional. Externalidades.

Catalogo de empresas mexicanas que ofrecen nanomateriales.

<http://www.nanotecmexico.com/>

<http://nanotecnologia.aki.com.mx/r/>

<http://www.nanotecnologiamex.com.mx/Home.html>