



## EL USO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ARAS DE LA SUSTENTABILIDAD

*Sein León Silva<sup>1</sup>, Edgar Zayago-Lau<sup>1</sup>, Edgar Ramón Arteaga-Figueroa<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Zacatecas Programa Estudios del Desarrollo. Zacatecas, México.  
Correo electrónico de autor principal: sein@hotmail.com

### RESUMEN

El objeto de la sustentabilidad es asegurar la producción de bienes y servicios necesarios para la reproducción social, mientras se contiene la cantidad de contaminantes. El modo de producción preponderante impone lineamientos técnicos y relaciones sociales que determinan los avances tecnológicos. Desde el aspecto técnico, la nanotecnología juega un papel sobresaliente como herramienta fundamental para procurar el balance entre metabolismo ambiental y transformación social. Hay una contradicción insalvable: mientras el capitalismo continúe depredando, la nanotecnología surge como solución para fomentar la sustentabilidad. Desde luego, existen varios ejes en los que puede incidir, mediante el diseño y creación de dispositivos con nanomateriales, simplificando procesos y operaciones industriales; nano-aplicaciones que mejoran la detección, remediación y tratamiento de aguas y suelos contaminados, y nanotecnologías que contribuyen a la conservación y producción de fuentes alternas de energía. El objetivo de este trabajo es destacar el debate en torno al uso de la nanotecnología frente a los retos que implica la sustentabilidad. Desde luego, en este espacio no se agota la discusión; más bien, se pasa revista a la potencialidad útil de la nanotecnología en esta área y se abordan algunas implicaciones sociales de su aplicación.

### INTRODUCCIÓN

Los elementos fundamentales para cubrir las demandas de una vida digna incluyen agua, alimentos, medicamentos, servicios de salud, energía y vivienda, entre otros. Sin embargo, las relaciones capitalistas motivan una infinita búsqueda por incrementar las ganancias. Es una condición de orden histórico-estructural que determina, en última instancia, el mandato de cualquier desarrollo tecnológico dentro de este sistema. Por otra parte, existen otros aspectos que exacerbaban la compleja relación entre el ser humano y el medio ambiente. Por ejemplo, la presión poblacional que, en 2020, de acuerdo al Fondo de Población de las Naciones Unidas, alcanzará los 7,795 millones de habitantes y para finales del año 2050 se prevé que el número de habitantes incremente a 9,700 millones de

personas (gráfico 1) (Mundial., 2016) (ONU, 2020). La concepción de mejorar los niveles de vida, *vis a vis*, y el desarrollo, necesariamente, pasan por un incremento en el consumo de bienes materiales y esto acrecienta la presión sistémica en cuanto a los bienes y servicios que son adquiridos y consumidos día a día. El incremento poblacional es, al menos en la superficie, un elemento determinante en la explotación ambiental. Dicho crecimiento, aunado a la producción, manufactura y utilización desmedida de recursos que lo acompañan, ha contribuido, de manera directa, en el deterioro y destrucción del medio ambiente (Diallo, et al., 2014). En consecuencia, la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas presentó, en



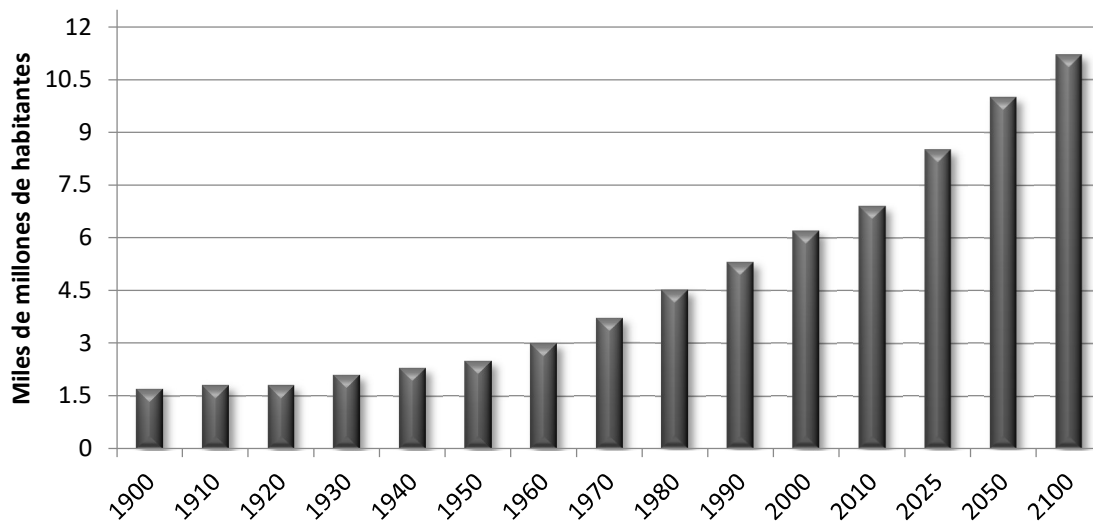
## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



1987, una iniciativa alternativa al modelo socioeconómico tradicional, responsable de daños irreversibles al ambiente. En el documento resultante, conocido como informe Bruntland, se planteó por primera vez el concepto de desarrollo sustentable. Si bien se

trata de un concepto en línea con el objetivo de mantener el *estatus quo* de cara a las relaciones sociales de producción, también es cierto que resalta algunas cuestiones que ejercen presión adicional sobre la problemática del bienestar social y ambiental.

**Gráfico 1. Crecimiento poblacional mundial proyectado a 2100**



Fuente: Banco Mundial, 2016

Esta Comisión definió la sustentabilidad como la administración eficiente y racional de los recursos para mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras (World Commission on Environment and Development, 1987). A partir de dicho concepto, se enmarca *el desarrollo sostenible*, el cual proyecta la producción de bienes y servicios mediante el uso de recursos naturales y económicos existentes para utilizarse de manera organizada y sistematizada; al mismo tiempo, conceptualiza un entorno económico, social, de diversidad cultural y de medio ambiente (Ness, et al., 2007). Para alcanzar este objetivo es sumamente importante entender la compleja relación entre economía, sociedad, y medio ambiente, pilares fundamentales de la sustentabilidad (figura 1). El desarrollo sostenible busca ser viable, equitativo y de largo

plazo, y para lograr su cometido es necesario echar mano de nuevas y diversas herramientas técnicas como la biotecnología y la nanotecnología, capaces de coadyuvar y facilitar la resolución de problemáticas cruciales como la dependencia a combustibles fósiles, la explotación y eutrofización de la tierra, los efectos del cambio climático y la contaminación de bancos de agua potable, a través de instrumentos y medios de producción más eficientes y con menores implicaciones ambientales. El énfasis, pues, se coloca en las relaciones técnicas para, presumiblemente, controlar los impactos sociales sobre el medio ambiente.

El uso de nanotecnologías es en especial interesante, ya que se definen como el estudio y control de la materia a escala nanométrica, con estructuras entre 1 a 100 nanómetros ( $1 \times 10^{-9}$  m) en, al menos, una de sus dimensiones. Esto



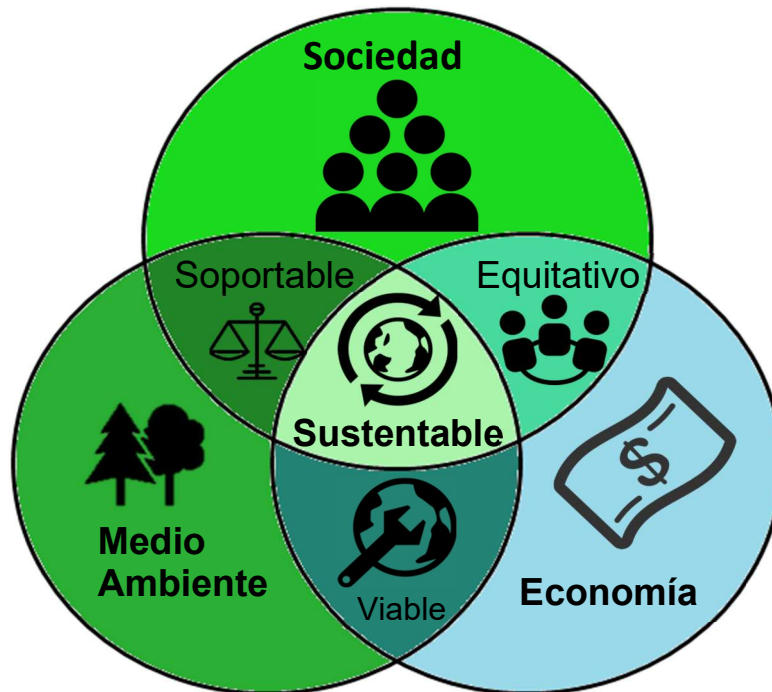
## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



permite modificar los componentes base de materiales y dispositivos dado que, a menor escala, el área superficial aumenta, generando la posibilidad de manipular y organizar estructuras de acuerdo con los requerimientos de la aplicación deseada (Marambio-Jones y Hoek, 2010; NNI, 2020; Roco, 2005). Al modificar sus propiedades, se obtiene una mayor eficiencia en

comparación con los materiales originales, ya que se pueden extrapolar las características deseadas como resistencia a la compresión o tensión, conducción eléctrica, elasticidad, temperatura, magnetismo, ópticas, entre otras (Diallo, et al., 2014; Miyake, et al., 2013; Tong, et al., 2012).

Figura 1. Ejes que conforman la sustentabilidad



Fuente: elaboración propia.

La relevancia económica de esta tecnología provoca cambios disruptivos en la organización de la producción y en la división del trabajo. También, ha modificado los esquemas de trabajo intelectual y físico, trayendo consigo implicaciones sociales, éticas, legales y ambientales. En países desarrollados, la creación de agencias e iniciativas nacionales ha permitido destinar partidas especiales para atender problemas clave como la defensa nacional, salud, recursos naturales, industrias de la transformación y energía, así como un

etiquetado de productos e información al consumidor.

Los países en vías de desarrollo han optado por fomentar las nanotecnologías a través de la creación de *spin offs* y las colaboraciones universidad-industria, con el propósito de no rezagarse en esta ola de innovación. Como consecuencia de ello, se deja al libre mercado la selección de sectores donde fluye la investigación y desarrollo (I + D), lo cual abre un espacio para que los beneficios económicos



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



y prácticos de la tecnología sean capturados exclusivamente por grupos privados o extranjeros. Es, por tanto, fundamental entender cómo es que funciona y se integra la nanotecnología en los diversos sectores económicos y las aplicaciones donde puede incidir positivamente, con la finalidad de generar un marco procesal que permita enfocar

esfuerzos e inversiones. Esto sin olvidar, que a la par del desarrollo e innovación de una tecnología se debe tener en cuenta las implicaciones y aspectos nocivos que conlleva, para idear un sistema de evaluación y regulación que busque minimizar el riesgo a los usuarios y al medio ambiente.

### 1. EL DESARROLLO SUSTENTABLE COMO OBJETIVO

En 1996, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) puso en marcha los Objetivos del Desarrollo internacional (ODI), bajo un consenso de sus miembros de reducir la pobreza mundial a la mitad para el 2015, lograr educación primaria universal, remover las disparidades de género en las escuelas, acceso a salud reproductiva, reducciones específicas en índices de mortalidad infantil y materna, y revertir la pérdida de recursos naturales (Black, 2004). Los ODI son el antecedente de la agenda de desarrollo con

mayor difusión mundial, que la ONU implementó a inicio del presente siglo.

En septiembre de 2000, los 191 estados miembros de la ONU se comprometieron a luchar contra la pobreza, el hambre, la enfermedad, el analfabetismo, la degradación del medio ambiente y la discriminación contra la mujer, a través de 8 objetivos, que denominaron Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y que acordaron tratar de alcanzar para 2015. Los ocho ODM consistían en:

1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre.
2. Lograr la enseñanza primaria universal.
3. Promover la igualdad entre los sexos y la autonomía de la mujer.
4. Reducir la mortalidad infantil.
5. Mejorar la salud materna.
6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.
8. Fomentar una asociación mundial para el desarrollo (OMS, 2020).

La influencia de diversos componentes, donde resaltan la cantidad poblacional, incluidos sus requerimientos alimenticios, energéticos, de salud y económicos, así como la cantidad de recursos que pueda ofrecer el entorno, son los que enmarcan al desarrollo sustentable. Por dichos factores es que se deben considerar los complejos vínculos existentes en un sistema social, económico y ambiental, el cual involucra una serie de condiciones necesarias para alcanzar un bienestar estable y duradero (Bugliarello, 2006; Kates y Parris, 2003; Rapport, 2007).

Cuando se habla de desarrollo sustentable se busca una mejoría en las condiciones de vida actual sin poner en riesgo los recursos de las generaciones futuras. Es decir, un aprovechamiento adecuado de los recursos que se tienen, satisfaciendo las necesidades de la población, pero sin exprimir al máximo los bienes naturales. Para que éste exista, se requieren tres componentes fundamentales: sociedad, medio ambiente y economía. Estas tres áreas deben convivir de forma armoniosa y el desequilibrio de alguna de ellas podría ser causa de la ruptura en el desarrollo. Por lo que, para alcanzar este o cualquier tipo de desarrollo es necesario que exista un plan de crecimiento,



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



una serie de pasos que deban cumplirse adecuadamente. Otro elemento esencial de cualquier modelo de desarrollo es la disminución de la desigualdad y la pobreza; sin esto no se puede hablar de un verdadero progreso.

Al llegar 2015, se reconoció que no se habían logrado cumplir en su totalidad los ODM. Ese mismo año, los miembros de la ONU se dieron otro plazo de 15 años para cumplir, esta vez, 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)<sup>1</sup> en

2030. En ellos, hace énfasis en el desarrollo sostenible para modificar la manera de producir y consumir bienes, administrar recursos naturales, y reducir la inequidad social (figura 2). Ante estos retos es imprescindible la generación, el desarrollo y la aplicación de conocimientos tecnológicos adecuados, que participen de forma activa y trascendental en la formación de un nuevo paradigma económico y social, que sienten las bases mínimas requeridas de la sustentabilidad.

Figura 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020.

<sup>1</sup> Los 17 ODS, con las 169 metas, tienen un alcance más amplio y van más allá que los ODM, al abordar las causas fundamentales de la pobreza y la necesidad universal de lograr un desarrollo a favor de todas las personas. Los objetivos abarcan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente (ONU, s/f).



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



Los complejos retos globales que enfrenta la sustentabilidad involucran diversas áreas del conocimiento, que requieren de enfoques multi y trans disciplinarios para poder ofrecer respuestas viables que permeen a todos los sectores. En este sentido, la nanotecnología surge como una herramienta capaz de coadyuvar en la generación de soluciones en una variedad de sectores económicos y sociales, mediante la creación de materiales específicos para cada necesidad y requerimiento, así como precursor, en diversos productos capaces de mejorar la duración y calidad de alimentos, reducir la erosión de suelos y acelerar la purificación de aguas contaminadas, entre otros. Derivado de lo anterior, se entiende necesario, recapitular los avances hechos al momento, así como las áreas donde la nanotecnología ha tenido un mayor avance para poder generar una matriz de control de los productos elaborados con esta tecnología y poder evaluar sus efectos y repercusiones. Por otra parte, aunque es evidente el aporte técnico de la nanotecnología; no hay que olvidar que muchos de los problemas que se colocan como parte de los ODM tienen génesis social y de ninguna manera pueden resolverse en su totalidad mediante recetas tecnológicas descontextualizadas. A continuación, se enumeran algunos campos en donde la nanotecnología puede incidir con respecto a los ODM, pero se advierte precaución, ya que, como se mencionó anteriormente, muchos de los problemas derivan precisamente de estructuras sociales y no de la inadecuada aplicación de ciertas tecnologías.

Dentro de los objetivos de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible, la pobreza conduce la lista, dado que es un elemento convergente con otros como el hambre, la deficiencia educativa, de salud y servicios de higiene, incluso la discriminación y desigualdad social. Y es en estos rubros donde los avances nanotecnológicos podrían ser útiles. Por ejemplo, en cuanto al área de alimentos, se han desarrollado nanofertilizantes capaces de entregar nutrientes específicos a cada cultivo, además se han creado nanoplaguicidas y nanoherbicidas cuyas propiedades permiten

eliminar de forma particular y eficiente todo tipo de organismo que afecte el crecimiento de las plantaciones (Alivisatos, et al., 2005; Chinnamuthu y Boopathi, 2009; Kah, 2015); por otra parte, mediante el uso de nanopartículas de plata y cobre se ha logrado la recuperación de tierras de cultivo que habían sido erosionadas o desertificadas (Dubey y Mailapalli, 2016; Liu y Lal, 2015). De igual forma, se han creado empaques, envolturas y recubrimientos capaces de incrementar el tiempo de preservación de alimentos y disminuir el crecimiento de bacterias y microorganismos patógenos (Duncan, 2011; Kumari y Yadav, 2014; Rhim, et al., 2013).

En el ámbito de salud, hay expectativa para que las nanotecnologías coadyuven, ya que, debido a las propiedades antibacteriales y fungistáticas de diversos nanomateriales como el cobre, óxido de zinc, óxido de cobre, plata y dióxido de titanio, éstas pueden recubrir instrumentos quirúrgicos, apósitos para heridas, distribuir la entrega controlada de fármacos o el uso de prótesis, piezas dentales entre otras (Ahn, et al., 2009; Chen y Schluesener, 2008; Shenava, et al., 2015). Estas aplicaciones ya se encuentran en productos comercializables y tienen un impacto diverso, ya que, por un lado, asisten a incrementar la calidad y efectividad de los servicios de salud, además de disminuir los costos y el tiempo de recuperación de los pacientes; mientras que, por otro, existen dudas sobre la toxicidad, bio-acumulación y contaminación de ciertos nanomateriales en el medio ambiente.

Además, el uso de nanotecnologías también se puede involucrar en la descontaminación y purificación del agua (Stobinski, 2008), ya que permite acelerar la potabilización de recursos hídricos contaminados. A través de diversos nanomateriales, tales como: carbón, plata, hierro, titanio, magnetita y sílice, entre otros, cuyas propiedades magnéticas, oxidativas, foto catalíticas, semiconductoras, bactericidas y de Valente cero han sido cuidadosamente modificadas, logrando ampliar su capacidad de absorción, filtración, desalinización y



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



purificación (Gehrke, et al., 2015; Qu, et al., 2013; Savage y Diallo, 2005; Zhang, 2003).

Aunado a lo anterior, otro punto principal en el desarrollo sustentable es el cambio climático. Esta problemática involucra varias esferas que reflejan las grandes tendencias que marca el modelo de producción dominante: el uso descontrolado de combustibles fósiles, la sobre-explotación de tierras para agricultura, la ganadería, la construcción desmedida de viviendas, la deforestación de bosques, así como la sobre generación de gases de efecto invernadero. Por esto es que ha surgido la apremiante necesidad de generar energías limpias y asequibles, así como materiales de alto rendimiento y durabilidad que permitan disminuir el consumo energético aprovechando las fuentes de energía alternativas (Diallo, et al., 2014; Mao y Chen, 2007).

A través, del desarrollo de aislantes, recubrimientos térmicos y celdas a base de carbono, magnesio, dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), sulfuro de cadmio (CdS), óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), se ha logrado aumentar la resistencia, conductividad y dureza de compuestos más ligeros y resistentes para la producción de paneles solares, motores y generadores (Bruce, et al., 2008; Salonitis, et al., 2010). Otro aspecto dentro del campo óptico es el desarrollo de diodos emisores de luz (LED) mucho más eficientes y duraderos a un menor costo (Yoon, et al., 2010). En lo que respecta a la generación y aprovechamiento de fuentes alternas de energía, diversas investigaciones han explorado el desarrollo de las propiedades fotovoltaicas en materiales como el sílice y el carbón para la producción de paneles y motores eléctricos, donde semiconductores de pocos nanómetros de espesor, reducen significativamente el tamaño de las celdas solares, minimizando los

materiales empleados y, por ende, su costo (Ramsurn y Gupta, 2013).

Un sistema de generación limpia de energía diferente es la batería de hidrógeno, así como las de ion-litio. Las primeras, son especialmente sustentables, ya que el mayor residuo generado es agua. Para ello, se utilizan partículas principalmente de carbono para realizar la reacción catalítica entre el hidrógeno y el oxígeno (Schlapbach y Züttel, 2001). Dichas baterías producen tres veces más energía que la gasolina y se han convertido en una gran alternativa al uso de combustibles fósiles. A la fecha, diversas empresas automovilísticas poseen prototipos que funcionan ya sea con base en hidrógeno o ion-litio, sin embargo, su producción es costosa y la eficiencia y disposición, después de su vida útil, hacen que su uso generalizado esté todavía lejos de ser una realidad (Bruce, et al., 2008; Salonitis, et al., 2010).

El desarrollo sostenible plantea la reducción de la desigualdad mediante una gestión responsable de los recursos, para ello, el uso de tecnologías sustentables juega un rol preponderante en cuanto a mejorar la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico de la sociedad. El caso de la nanotecnología y su papel como herramienta emergente en el desarrollo sostenible es de especial importancia puesto que permite (dada su configuración de tecnología habilitadora, es decir, con presencia en todos los sectores económicos) tener una evolución y adopción acelerada. Dicho proceso requiere de un acompañamiento regulatorio que le permita desarrollarse en cada sector de manera óptima sin atentar con el bienestar social de las mayorías y, también, sin afectar la sustentabilidad ambiental de futuras generaciones.

## 2. DESARROLLO Y APLICACIONES NANOTECNOLÓGICAS

En los últimos 20 años, varios países han incrementado significativamente el presupuesto para I + D de nanotecnologías desde los sectores público y privado (NNI, 2018).

Algunos de manera directa y otros transversalmente, mediante planes nacionales o políticas públicas específicas. El primero fue Estados Unidos, que lanzó la Iniciativa Nacional



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



de Nanotecnología (NNI), en 2000. Posteriormente, Japón, Corea del Sur, la Comunidad Europea, Alemania, China y Taiwán también lanzaron iniciativas. Más de 60 países establecieron programas de I+D en nanotecnologías entre 2001 y 2004 (Roco, et al., 2010).

Pero el apoyo financiero a estas tecnologías no ha sido exclusivo de países desarrollados, también naciones emergentes en África, Asia y América Latina se han sumado a la ola nanotecnológica. La implementación de asociaciones público-privadas, los llamados *spin-off*, han sido una estrategia común para la I+D en la materia, debido a que el estudio de partículas a nanoescala requiere equipos costosos (fabricados en países desarrollados) y que demandan alta especialización técnica para operar los instrumentos e interpretar los datos adquiridos.

El uso de nanotecnologías para el aprovechamiento y conservación del medio ambiente ha ido en aumento, debido a la relativa facilidad de modificar, adaptar y mejorar sus propiedades y componentes, enfocándolos hacia una integración con diversos aparatos y herramientas, las cuales fungen como elementos de cambio en búsqueda de alcanzar un desarrollo sustentable (Servin, et al., 2015), su oferta y potencial, de ampliar los límites del desarrollo humano, las han posicionado como un elemento prometedor para enfrentar las necesidades de agua, energía y alimento; así como en la optimización de productos de uso común, como automóviles, computadoras, medicamentos, electrodomésticos, textiles y servicios (Rashidi y Khosravi-Darani, 2011; Servin y White, 2016; Visai, et al., 2011).

En cuanto a sus aplicaciones relacionadas al medio ambiente, destacan los sensores empleados para monitorear la calidad y composición del aire, dichos sensores se conocen como gas en estado sólido (SGS) y utilizan un gas que cambia directamente las propiedades eléctricas de un sólido, sirviendo como señal principal para el transductor. Estos

sensores utilizan finas películas nano cristalinas de óxidos metálicos como estaño, tungsteno, indio, zinc, aluminio, etc., que operan como semiconductores, proveyendo una excelente resolución, con mediciones más rápidas y una reducción en los costos de operación, en comparación con los materiales convencionales (Ma, 2002; Rickerby y Morrison, 2007), esto es posible ya que el tamaño nanométrico de las partículas ofrece un área superficial más amplia y permite absorber mayor cantidad de moléculas de gas, permitiéndole al sistema funcionar de forma más rápida y eficiente.

Otra área de aplicación es dentro de la agricultura, para la remediación de suelos de cultivo, donde se han utilizado nanopartículas de hierro con valencia cero, in situ, para remover una gran variedad de metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas, etc. (Zhang, 2003). Además, se han desarrollado plaguicidas más seguros y eficientes que permiten disminuir su huella e impacto medioambiental gracias a la encapsulación y distribución específica de materiales antifungistáticos y antibacteriales en el momento y dosis adecuados (Shilatha, 2011; Tsuji, 2001).

Dentro del tratamiento de aguas, se utilizan nanotubos estructurados de carbono y plata principalmente como filtros, sensores y membranas para la absorción, remoción y desalinización de afluentes contaminados (Parham, et al., 2013; Qu, et al., 2013). Otro nanomaterial utilizado es el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), el cual, dadas sus propiedades magnéticas, actúa disperso en el agua contaminada atrayendo los metales pesados y removiendo gran parte de los contaminantes, para después ser recolectados por medio de un imán, pero permitiendo separarse de dichos elementos para poder ser reutilizados, reduciendo de esta forma los desechos y los costos de adquisición (Huang y Keller, 2013). Otros materiales comúnmente utilizados, son las nanopartículas de titanio, plata y paladio, con las cuales se elaboran filtros, capaces de eliminar bacterias como el *Escherichia Coli* del agua





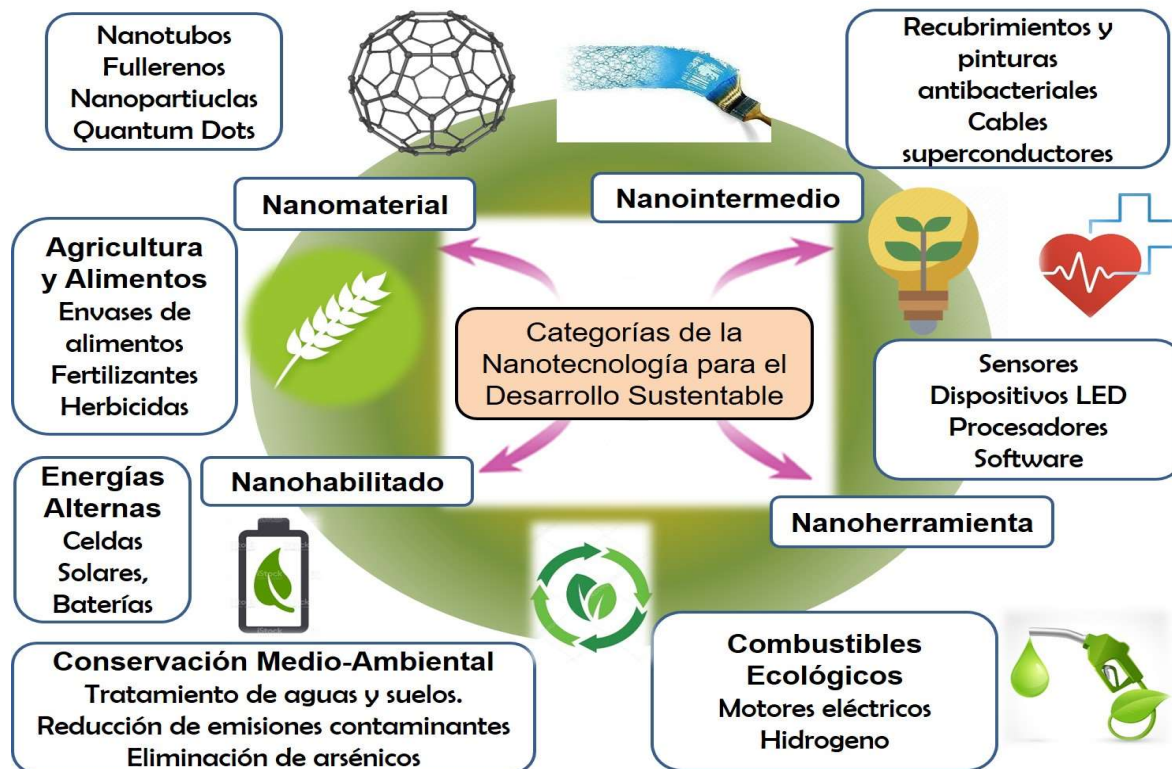
## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



(Adams, et al., 2014; Prabhu y Poulouse, 2012; Yeung, et al., 2009), también los nanotubos de carbono y las nanopartículas de oro han mostrado una desarrollada degradación catalítica de contaminantes recalcitrantes en el agua (Wang, et al., 2013). A partir, de estos desarrollos y aplicaciones, se podría clasificar al producto o proceso dentro de su ubicación en la cadena de valor. En tal caso, de acuerdo a investigaciones previas, existen cuatro etapas: 1) Nanomateriales, utilizados como materia prima para el desarrollo de nuevos elementos (híbridos) o estructuras que extrapolen alguna de sus características requeridas. 2) Nanointermedios, compuestos o

recubrimientos añadidos a otro elemento semi-terminado con la finalidad de exacerbar alguna de sus propiedades, como, por ejemplo: cables superconductores o pinturas antifungistáticas. 3) Productos nano-habilitados, dispositivos terminados donde el nanomaterial o nanointermedio es empleado, como: automóviles, computadoras, medicamentos, etc. 4) Nanoherramientas, software e instrumentos capaces de permitir la manipulación, modificación y desarrollo de componentes (Zayago Lau, Foladori, Appelbaum y Arteaga Figueroa, 2013). Lo anterior se puede apreciar mejor en la figura 3.

Figura 3. Clasificación categórica según aplicaciones nanotecnológicas dentro de la sustentabilidad



Fuente: elaboración Propia.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



### 3. IMPLICACIONES Y CONSIDERACIONES SOCIALES

Dadas las diversas áreas de aplicación y la efectividad que han mostrado, se tienen amplias probabilidades de que la nanotecnología pueda ayudar a instaurar un nuevo paradigma de consumo, menos contaminante; no obstante, esto no es una solución estructural y definitiva. Es un paliativo que omite el origen social de la problemática ambiental, social e histórica. Se debe comprender que la tecnología no es una herramienta que soluciona por sí misma los problemas con raíz social. Para ello, se requiere de un esfuerzo conjunto y un cambio en la forma de disponer de los medios y los recursos usados en los procesos productivos. Por tanto, se deben involucrar todos los actores de manera significativa y sinérgica para lograr enfrentar las dificultades económicas, sociales y medio ambientales que conllevan un desarrollo humano sostenible. Diseñar y adoptar una nueva tecnología requiere tomar en cuenta las múltiples dimensiones del desarrollo de cada país en su contexto histórico y dialéctico.

Hoy en día, la colaboración entre investigadores financiados por el gobierno y la industria privada se concibe como un elemento fundamental para la transferencia y la comercialización de nanotecnologías. Sin embargo, para que esto se materialice es necesaria la implementación de una política que determine áreas específicas para cubrir objetivos de desarrollo concretos (por ejemplo, el caso de las iniciativas nacionales). Cuando se habla de una nueva tecnología, surge la creencia de que ésta servirá para producir más y mejores objetos que lograrán satisfacer

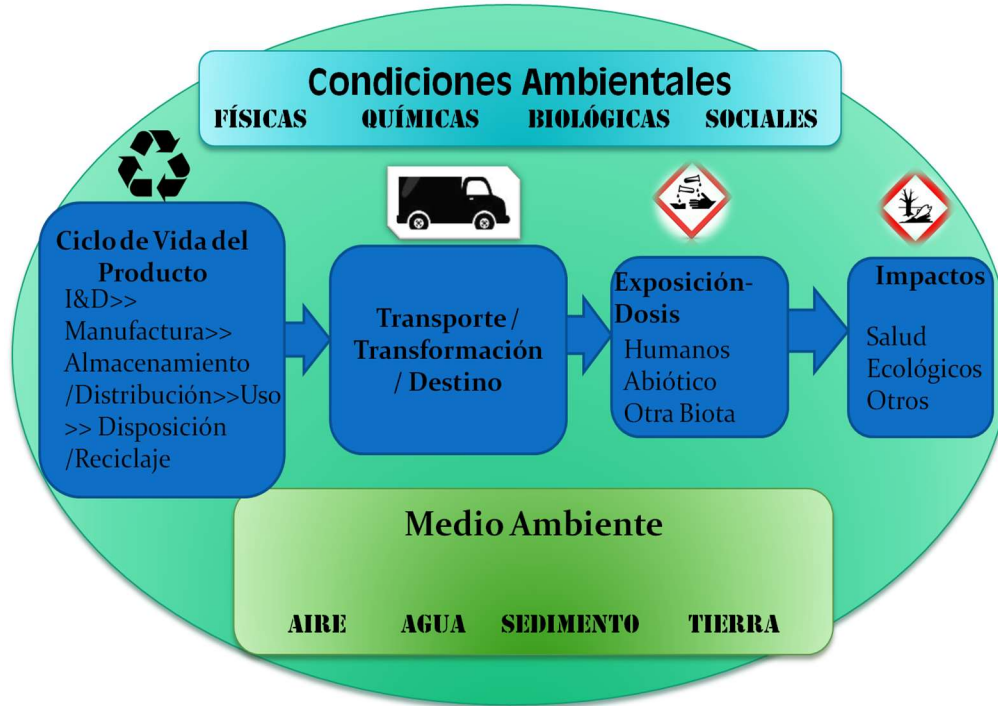
necesidades sociales (acceso a medicamentos, remediación y purificación de agua, energía barata y accesible). Sin embargo, aunque pueda suponerse una correlación positiva entre tecnología y desarrollo, la relación entre éstos no siempre es directa.

Por otra parte, es primordial evaluar los posibles aspectos negativos que conllevan las nanotecnologías antes de ser producidas y comercializadas a gran escala, pues es de suma importancia conocer las implicaciones, repercusiones e impacto que pueda surgir a la introducción de nuevos materiales y productos previo a su uso y aplicación, buscando prevenir, planear y ejecutar estrategias funcionales e integrales que incluyan un marco regulatorio apropiado.

En este contexto, se deben realizar los protocolos de validación pertinentes, que ponderen los efectos secundarios que surgirán al entrar en contacto con el ser humano y el medio, dado que al transferir y escalar una herramienta con una capacidad de aplicación tan vasta como la nanotecnología se tiene que evaluar los elementos que estarán en contacto con ellos durante su uso, así como el ciclo de vida del material mismo, desde su elaboración, transporte, almacenaje y aplicación hasta su disposición final, pues las mismas propiedades modificadas que contienen podrían resultar contraproducentes si se exponen a un medio inapropiado o si su degradación resultase compleja de controlar (figura 4).



Figura 4. Marco de Evaluación Ambiental



Fuente: United States Environmental Protection Agency, 2020.

Una vez que la inversión en ciencia tiene como propósito obtener ganancia, la división al interior de este trabajo se profundiza. Las actividades se separan en productos independientes que tienen precio. Se forman grupos y centros de investigación especializados que no tienen como función desarrollar un producto final, sino etapas intermedias. Con ello se agudiza la profundización de la división del trabajo científico, llegando a dividirse en agencias especializadas de I + D, grupos de investigación, diseñadores e ingenieros, centros de producción industrial y bufetes de abogados para protección intelectual, entre muchos otros intermediarios. Esta fragmentación produce una separación de la ciencia y la tecnología con su

función social. A medida que se separa en etapas, la evaluación de las actividades de CyT radica en su precio y no en su aplicación a la resolución de problemas sociales.

Además, no se debe perder de vista que la tecnología es un activo que se apropia privadamente y que otorga poder en el mercado. Como tal es capaz de generar rentas monopólicas para quienes la controlan y explotan. Esto introduce las relaciones de poder y aborda la manera en que la tecnología se vuelve un medio para extraer excedente de quienes la adquieren a través del comercio (Sagasti, 1981), donde su precio de mercado estará determinado por la oferta y la demanda.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



### CONCLUSIONES

La compleja problemática existente, como el cambio climático, el hambre, la escasez de agua, y servicios de salud, entre otras, requieren de la convergencia de múltiples esfuerzos para modificar la forma en que se produce, consume y manejan los recursos naturales. Para ello, la tecnología y la sociedad tienen que trabajar de manera conjunta, en el desarrollo y producción de herramientas capaces de resolver de manera eficiente y segura las necesidades humanas considerando, además, disminuir su impacto ecológico consumiendo responsablemente los recursos con los que se dispone. El capitalismo implica una contradicción estructural entre los bienes materiales necesarios para la reproducción social y la sustentabilidad ambiental.

La nanotecnología se presenta como una herramienta con altas expectativas para coadyuvar en la resolución de problemáticas puntuales de los ODS, desde los efectos del cambio climático, el tratamiento y remediación de agua, la generación de energías alternativas, el desarrollo y distribución de medicamentos, la creación de dispositivos electrónicos, etc.; sin embargo, estos desarrollos deben ir de la mano con estrategias de evaluación social sistemáticas, además de una reestructuración en la forma de producir y explotar el medio ambiente, ya que para alcanzar un desarrollo sostenible se requiere de la conjunción de las clases sociales mayoritarias aunado a un crecimiento basado en usos y no cambios.

En la carrera global por el desarrollo, la línea de salida no fue pareja para todos. Las agendas hegemónicas, propuestas por organismos internacionales, no necesariamente son funcionales en países donde las cuestiones

económicas, políticas, sociales, ideológicas, de infraestructura, grado de desarrollo educativo y científico-tecnológico son diametralmente distintas. Para desarrollar nanotecnologías, se requiere una serie de condiciones específicas que no todas las naciones pueden financiar. En la búsqueda por no rezagarse de la carrera tecnológica, han implementado estrategias que les permiten acceder a ellas bajo las condiciones de mercado, que profundizan la brecha y alejan a los países atrasados del cumplimiento de los ODS.

Por lo tanto, al centro del análisis debe tenerse en cuenta que la capacidad de asimilación, adopción y uso de una nueva tecnología, además de planear y estructurar los sectores en los que tendrá una incidencia, ya que se requiere de una serie de condiciones económicas, políticas y sociales específicas. La motivación individual de las empresas no necesariamente considera la atención de objetivos colectivos.

Existen áreas estratégicas en las que los estados, de acuerdo con sus niveles particulares de desarrollo, deben pronunciarse respecto al financiamiento y destino de la I + D (sobre todo si se realiza con recursos públicos). Agua, salud, medio ambiente, seguridad nacional, soberanía alimenticia y energía son algunos ámbitos determinantes de la calidad de vida de la población, donde la planeación socioeconómica de largo plazo puede conducir al desarrollo. Por lo tanto, de no existir una política pública amplia que conduzca la I + D hacia necesidades sociales y/o aspectos claves en la acumulación de capital, junto con una política industrial que integre la actividad productiva con estos objetivos, los esfuerzos científicos y tecnológicos son propensos a morir en estados primarios.

### AGRADECIMIENTOS

Proyecto Apoyado por el Fondo Sectorial de Investigación para la Educación SEP-CONACYT, clave CB-2017-2018-A1-S-9013.



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



### BIBLIOGRAFÍA

- Adams, C. P., Walker, K. A., Obare, S. O. y Docherty, K. M. (2014). Size-dependent antimicrobial effects of novel palladium nanoparticles. *PloS one*, 9(1), e85981. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085981>
- Ahn, S. J., Lee, S. J., Kook, J. K. y Lim, B. S. (2009). Experimental antimicrobial orthodontic adhesives using nanofillers and silver nanoparticles. *Dental Materials*, 25(2), 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.06.002>
- Alivisatos, P., Cummings, P., DeYoreo, J., Fichthorn, K., Gates, B., Hwang, R., Lowndes, D., Majumdar, A., Makowski, L., Michalske, T., Misewich, J., Murry, C., Sibener, S., Teague, C. y Williams, E. (2005). Nanoscience Research for Energy Needs: Report of the March 2004 National Nanotechnology Initiative Grand Challenge Workshop. *Energy*, 86.
- Banco Mundial (BM). (2016). *La población mundial en el futuro en cuatro gráficos*.
- Black, R. (2004). *Targeting development critical perspectives on the millennium development goals*. Routledge.
- Bruce, P. G., Scrosati, B. y Tarascon, J.-M. (2008). Nanomaterials for rechargeable lithium batteries. *Angewandte Chemie*, 47(16), 2930–2946. <https://doi.org/10.1002/anie.200702505>
- Bugliarello, G. (2006). Urban sustainability: Dilemmas, challenges and paradigms. *Technology in Society*, 28(1–2), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.018>
- Chen, X. y Schluesener, H. J. (2008). Nanosilver: A nanoparticle in medical application. *Toxicology Letters*, 176(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2007.10.004>
- Chinnamuthu, C. R. y Boopathi, P. M. (2009). Nanotechnology and Agroecosystem. *The Madras Agricultural Journal*, 96, 17–31.
- Diallo, M. S., Fromer, N. A. y Jhon, M. S. (2014). Nanotechnology for sustainable development: Retrospective and outlook. En *Nanotechnology for Sustainable Development, First Edition*, 1–16. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05041-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05041-6_1)
- Dubey, A. y Mailapalli, D. R. (2016). Nanofertilizers, nanopesticides, nanosensors of pest and nanotoxicity in agriculture. En *Sustainable Agriculture Reviews*, 19, 307–330. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_7)
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Gehrke, I., Geiser, A. y Somborn-Schulz, A. (2015). Innovations in nanotechnology for water treatment. En *Nanotechnology, Science and Applications*, 8. <https://doi.org/10.2147/NSA.S43773>
- Huang, Y. y Keller, A. A. (2013). Magnetic nanoparticle adsorbents for emerging organic contaminants. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1(7), 731–736. <https://doi.org/10.1021/sc400047q>
- Kah, M. (2015). Nanopesticides and Nanofertilizers: Emerging Contaminants or Opportunities for Risk Mitigation? *Frontiers in Chemistry*, 3. <https://doi.org/10.3389/fchem.2015.00064>



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



- Kates, R. W. y Parris, T. M. (2003). Long-term trends and a sustainability transition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), 8062–8067. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231331100>
- Kumari, A. y Yadav, S. K. (2014). Nanotechnology in agri-food sector. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(8), 975–984. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.621095>
- Liu, R. y Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. En *Science of the Total Environment*. 514, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104>
- Ma, Y. (2002). Study on Sensitivity of Nano-Grain ZnO Gas Sensors. *Journal of Wide Bandgap Materials*, 10(2), 113–120. <https://doi.org/10.1177/1524511X02043537>
- Mao, S. S. y Chen, X. (2007). Selected nanotechnologies for renewable energy applications. *International Journal of Energy Research*, 31(6–7), 619–636. <https://doi.org/10.1002/er.1283>
- Marambio-Jones, C. y Hoek, E. M. V. (2010). A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(5), 1531–1551. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-9900-y>
- Miyake, S., Kawasaki, S. y Yamazaki, S. (2013). Nanotribology properties of extremely thin diamond-like carbon films at high temperatures with and without vibration. *Wear*, 300(1–2), 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.01.099>
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S. y Olsson, L. (2007). Categorizing tools for sustainability assessment. En *Ecological Economics* 60(3), 498–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.023>
- National Nanotechnology Initiative (NNI). (2020). *What is Nanotechnology?* <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. [https://www.who.int/topics/millennium\\_development\\_goals/about/es/](https://www.who.int/topics/millennium_development_goals/about/es/)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). Fondo de Población de las naciones Unidas. *Población mundial*. Población Mundial. <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s/f). *La Agenda de Desarrollo Sostenible*. Desarrollo Sostenible. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/la-agenda-de-desarrollo-sostenible/>
- Parham, H., Bates, S., Xia, Y. y Zhu, Y. (2013). A highly efficient and versatile carbon nanotube/ceramic composite filter. *Carbon*, 54, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.11.032>
- Prabhu, S. y Poulouse, E. K. (2012). Silver nanoparticles: Mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*, 2(1), 32. <https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-32>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, U. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Objetivos de Desarrollo Sustentable. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



- Qu, X., Alvarez, P. J. J. y Li, Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*, 47(12), 3931–3946. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058>
- Ramsurn, H. y Gupta, R. B. (2013). Nanotechnology in solar and biofuels. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1(7), 779–797. <https://doi.org/10.1021/sc400046y>
- Rapport, D. J. (2007). Sustainability science: An ecohealth perspective. En *Sustainability Science*, 2(1), 77–84. <https://doi.org/10.1007/s11625-006-0016-3>
- Rashidi, L. y Khosravi-Darani, K. (2011). The applications of nanotechnology in food industry. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(8), 723–730. <https://doi.org/10.1080/10408391003785417>
- Rhim, J. W., Park, H. M. y Ha, C. S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10–11), 1629–1652. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>
- Rickerby, D. G. y Morrison, M. (2007). Nanotechnology and the environment: A European perspective. *Science and Technology of Advanced Materials*, 8(1–2), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.stam.2006.10.002>
- Roco, M. C. (2005). International perspective on government nanotechnology funding in 2005. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(6), 707–712. <https://doi.org/10.1007/s11051-005-3141-5>
- Sagasti, F. R. (1981). *El factor tecnológico en la teoría del desarrollo económico* (1a ed.). El Colegio de México. <https://doi.org/>
- Salonitis, K., Stavropoulos, P. y Chryssolouris, G. (2010). Nanotechnology for the needs of the automotive industry. *International Journal of Nanomanufacturing*, 6(1–4), 99–110. <https://doi.org/10.1504/IJNM.2010.034776>
- Savage, N. y Diallo, M. S. (2005). Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(4–5), 331–342. <https://doi.org/10.1007/s11051-005-7523-5>
- Schlapbach, L. y Züttel, A. (2001). Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 414(6861), 353–358. <https://doi.org/10.1038/35104634>
- Servin, A. D. y White, J. C. (2016). Nanotechnology in agriculture: Next steps for understanding engineered nanoparticle exposure and risk. *NanoImpact*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2015.12.002>
- Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., De la Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., Bindraban, P. y Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. En *Journal of Nanoparticle Research*, 17(2), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-2907-7>
- Shenava, A., Sharma, S. M., Shetty, V. y Shenoy, S. (2015). *Silver nanoparticles: A boon in clinical medicine*. 2–5. <https://doi.org/10.4103/2249-4987.160194>
- Shilatha, B. (2011). Nanotechnology in Agriculture. *Journal Nanomedicine and Nanotechnology*, 2(7), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000123>
- Stobinski, L. (2008). *Novel Technique for Preparing a Nano-Silver Water Suspension by The Arc-Discharge Method*. 18, 750–756.
- Tong, H., Ouyang, S., Bi, Y., Umezawa, N. y Oshikiri, M. (2012). *Nano-photocatalytic Materials: Possibilities*



## II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología



- and Challenges*. 229–251. <https://doi.org/10.1002/adma.201102752>
- Tsuji, K. (2001). Microencapsulation of pesticides and their improved handling safety. *Journal of microencapsulation*, 18(2), 137–147. <https://doi.org/10.1080/026520401750063856>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Marco de Evaluación Ambiental. Ecological Risk Assessment for Pesticides: Technical Overview. <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/ecological-risk-assessment-pesticides-technical>
- Visai, L., de Nardo, L., Punta, C., Melone, L., Cigada, A., Imbriani, M. y Arciola, C. R. (2011). Titanium oxide antibacterial surfaces in biomedical devices. *International Journal of Artificial Organs*, 34(9), 929–946. <https://doi.org/10.5301/ijao.5000050>
- Wang, H., Dong, Z. y Na, C. (2013). Hierarchical carbon nanotube membrane-supported gold nanoparticles for rapid catalytic reduction of p -nitrophenol. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1(7), 746–752. <https://doi.org/10.1021/sc400048m>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future (The Brundtland Report)*. Medicine, Conflict and Survival. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Yeung, K. L., Leung, W. K., Yao, N. y Cao, S. (2009). Reactivity and antimicrobial properties of nanostructured titanium dioxide. *Catalysis Today*, 143(3–4), 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2008.09.036>
- Yoon, K. M., Yang, K. Y., Byeon, K. J. y Lee, H. (2010). Enhancement of light extraction in GaN based LED structures using TiO<sub>2</sub> nano-structures. *Solid-State Electronics*, 54(4), 484–487. <https://doi.org/10.1016/j.sse.2010.01.004>
- Zayago Lau, E., Foladori, G., Appelbaum, R. y Arteaga Figueroa, E. R. (2013). Empresas nanotecnológicas en México: hacia un primer inventario. *Estudios Sociales*, 21(42), 9–25. <https://doi.org/id=4172834100110.2307/j.ctv6mtcmp>
- Zhang, W. X. (2003). Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview. En: *Journal of Nanoparticle Research*, 5(3–4), 323–332. <https://doi.org/10.1023/A:1025520116015>