

Recibido: Abril 2013.

Aceptado: Agosto 2013.

Hacia una análisis teórico de las nanotecnologías en la economía

Edgar Zayago Lau¹

Resumen

En este artículo se intenta dar respuesta a las cuestiones básicas sobre las características y el desarrollo de las nanotecnologías en la economía. Al mismo tiempo, se pasa revista a las principales teorías económicas que explican a la tecnología, y se intenta construir un puente analítico para dar respuesta a varias preguntas que tienen reflejo en tecnologías emergentes como es el caso de las nano. Concluimos que hay tendencias estructurales que moldean el desarrollo de estas tecnologías en favor de ciertos actores; principalmente países desarrollados que han logrado ganar la carrera por controlar y comercializar la materia mediante estas tecnologías.

Palabras claves: nanotecnologías, teorías económicas, monopolio tecnológico, ciencia y tecnología.

Clasificación JEL: O, O1

¹Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Secretario Técnico de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) www.relans.org y Colaborador Externo del Centro de Nanotecnología y Sociedad de la Universidad de California, Santa Bárbara (CNS-UCSB).

Abstract

In this article the author provides answers to some key questions related to nanotechnology development and its features. At the same time, he reviews some of the most important economic theories of technology, and bridges the gaps between them and the economic reality of nanotechnologies. The author concludes that there are forces beyond the realms of science that shape the development of new technologies, including nano. And, such development benefits certain actors (specially industrialized countries), which are far ahead in controlling research, patents and commercialization of nanotechnologies.

Key words: nanotechnology, economic theory, technological monopoly, science and technology.

Clasificación JEL: O, O1

Introducción

Este artículo tiene el objetivo de acercarse a las nanotecnologías (NT) desde la óptica de algunas teorías económicas sobre la tecnología. Las NT son la plataforma de la siguiente revolución industrial. Por primera vez en la historia el ser humano es capaz de manipular la materia átomo por átomo. Gracias a las NT se pueden diseñar nuevos materiales o descubrir nuevas características de los materiales conocidos. Existen varias interrogantes sobre estas nuevas tecnologías: qué son, dónde se aplican, son producto de ciencia ficción o una realidad económica, y cómo podemos analizar teóricamente su desarrollo y su impacto económico.

El artículo intenta dar respuesta a estas interrogantes y construir un itinerario teórico básico para su entendimiento. En la primera parte explicamos cuestiones básicas sobre las NT e ilustramos su relevancia económica mediante datos empíricos de inversión en investigación y desarrollo (IyD), patentes y productos. Posteriormente pasamos revista a las teorías que,

según nosotros, son las más relevantes para explicar la inserción de la tecnología en la economía; y al mismo tiempo respondemos preguntas clave de acuerdo al contexto económico en el que las NT se insertan.

1. Apuntes sobre las NT

La nanotecnología implica observar y modificar el mundo en la escala atómica y molecular. Según Edwards (2006, p.13), una de las más famosas aplicaciones de la nanotecnología se observaba en los vitrales de las iglesias en la Edad Media. En estos cristales las nanopartículas de oro servían de pigmentos para crear diferentes tonalidades. Esto se lograba a partir del conocimiento práctico que pasaba de generación en generación, sin tener una comprensión teórica del fenómeno.

El entendimiento teórico de la manipulación molecular y sus efectos se fue dando conforme la ciencia avanzó. Richard Feynman, físico y Premio Nobel, en su famosa presentación titulada *There is Plenty of Room at the Bottom*, habló por primera vez de la posibilidad de colocar el contenido de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler. En 1974, el profesor Norio Taniguchi acuñó el término nanotecnología al describir la posibilidad de manipular la materia a nivel molecular. En 1981, los Premios Nobel de Física, Henrich Rohrer y Gerd Binnig, del laboratorio IBM de Zurich, diseñaron el microscopio de efecto túnel que permitió finalmente manipular la materia átomo por átomo.

El término “nano” refiere a la escala en que la tecnología desarrolla su potencial tecnológico. Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro. Una molécula de ADN tiene un diámetro de aproximadamente 2.5 nanómetros; un cabello humano puede tener alrededor de 50,000 nanómetros de ancho y un nanotubo de carbono tiene un nanómetro de diámetro. Esto nos proporciona una idea de la escala en la que los nanotecnólogos trabajan. La materia en esta escala tiene propiedades físicas y cuánticas diferentes a la materia en escala mayor.

Esto permite que los materiales nanotecnológicos tengan características de conductibilidad, flexibilidad, resistencia y toxicidad novedosas. También la nanotecnología es una tecnología habilitadora que potencia la capacidad técnica de otras; de ahí que se entienda como un paquete de tecnologías, en lugar de una sola.² Miller y Senjen (2008, p.27) describen a estas tecnologías de la siguiente manera:

“El término ‘nanotecnología’ no describe a una sola técnica sino que engloba a una serie de tecnologías que operan a escalas de los componentes básicos de los materiales biológicos y manufacturados; es decir, a ‘nanoescala’. Se ha definido provisionalmente a la nanotecnología como toda tecnología relacionada con materiales, sistemas y procesos que operan a una escala de 100 nanómetros (nm) o menos. Los nanomateriales han sido definidos como aquellos que tienen una o más dimensiones que miden 100 nm o menos, o que tienen al menos una dimensión a esta escala que afecta el comportamiento y las propiedades de los materiales.”

Por su parte, la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (INN) de los Estados Unidos de América (EUA), establece que las nanotecnologías (NT) comprenden fenómenos novedosos de la materia entre 1 y 100 nanómetros (NNI, 2013a). Vale apuntar, sin embargo, que varios nanomateriales manufacturados comienzan a manifestar sus propiedades novedosas a partir de los 300 nanómetros y la *Food and Drug Administration* de los EUA usa una definición de nano-fármacos hasta los 1000 nanómetros. Esto sucede porque el volumen en correspondencia con la superficie permite mayor reactividad en las nanopartículas manufacturadas, lo que genera las novedosas propiedades. Para propósitos de este artículo agruparemos a las NT en un paquete de procesos que permiten crear artículos con propiedades nunca antes vistas. En términos generales podemos identificar 4 características en los productos creados a partir de

²Así se desarrollan las nanobiotecnologías, la nanomedicina, la nanoelectrónica y un sinnúmero más.

las NT: mayor eficiencia, multifuncionalidad, menor uso de materias primas y mayor duración en estantes o refrigeración.

La empresa Alemana *LANXESS* comercializa un aditivo para llantas de automóvil llamado *nanoprene*, una vez que este producto se extiende en el caucho, las llantas aumentan su agarre y resistencia, además de incrementar su duración en un 15% (SpecialChem, 2008). Las pinturas *Behr* son otro ejemplo de productos que a partir de las NT pueden ser más eficientes. Dichas pinturas son más resistentes al agua, a los hongos y a las manchas de grasa debido a las nanopartículas que sirven de barrera molecular (Behr, 2013).

La multifuncionalidad es otra característica que se hace evidente en los productos que usan NT para su funcionamiento o en su proceso de manufactura. El pan *Tiptop* es elaborado en Australia y contiene nanopartículas de omega 3, por lo que provee de la nutrición contenida en el trigo pero también los omegas del pescado, sin contener el característico sabor (Tiptop, 2013). Se trata de un producto alimenticio que reúne las propiedades de dos suministros de origen distinto: vegetal y animal. Otro ejemplo es el producto Brasileño *Nouwell E*. Es un textil con la capacidad de transferir vitamina E y perfume a la piel del consumidor. Es un producto que está todavía en desarrollo, pero que implicará satisfacer tres necesidades: vestido, cosmético y vitamínico (CHT, 2013).

El menor uso de materiales o insumos también se observa en productos que usan NT. *BMC* es una compañía Suiza que usa nanotubos de carbono en el armazón de sus bicicletas de carreras y, en consecuencia, requieren menos materiales respecto a los modelos que utilizan insumos “tradicionales”, además de ser 23% más ligeras (Kesteven, n/d). *Abraxane* es un fármaco fabricado por *Abraxis Bioscience* y fue la primera en el mundo en usar nanopartículas de albumina para aumentar la efectividad y reducir la dosis del medicamento en el tratamiento contra el cáncer (NCI, 2006).

El aumento de durabilidad de los productos en los estantes, gracias a los nanometariales, es otra característica palpable que permiten las NT. La compañía estadounidense *Miller* utiliza botellas que están hechas de *Imperm*, un material que contiene nanopartículas de arcilla y que extienden la duración de la cerveza en más de 6 meses (Barry, 2012). Otro ejemplo es la empresa *Suzano*. Esta empresa, localizada en Brasil, fabrica una película plástica con nanopartículas que extiende la vida de los productos perecederos en varias semanas (Suzano, 2013).

Varios gobiernos han sido cautivados por las revolucionarias características de las NT. Tan sólo los EUA han invertido 20 mil millones de dólares en la investigación y desarrollo (IyD) en las NT desde 2001; el presupuesto estimado para el 2014 es de 1,800 millones de dólares (NNI, 2013b). Los países pobres o en vías de desarrollo también siguen el ejemplo de sus contrapartes desarrolladas y se han subido al carro nanotecnológico, con la persuasión de organismos internacionales.

Las NT forman parte de un paquete de tecnologías emergentes (biotecnología, robótica, TICs, entre otras) cuyo potencial innovador, presumiblemente, transformará a las economías subdesarrolladas y las hará más competitivas. Primero, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en 1996, y después el Banco Mundial, en 1999, impulsaron programas que hacían hincapié en el uso del conocimiento para incrementar la competitividad en los países en desarrollo. La clave era usar tecnologías de punta para inducir la innovación y construir economías basadas en la *mentefactura*, en lugar de la manufactura (OCDE, 1996; BM, 1999). Las tecnologías emergentes se incorporaron a la lógica de esa plataforma y las NT no fueron la excepción. Varias instituciones internacionales, gobiernos y centros de investigación han apoyado tal postura.

Uno de los primeros fue el Centro de Bioética de la Universidad de Toronto, Canadá (UTJCB) que, de la mano de Salamanca-Buentello y colaboradores, abogó por el uso de NT para lograr

algunos objetivos de desarrollo del Milenio (Salamanca-Buentello et al., 2005). En el mismo año, la Fuerza de Tarea sobre Ciencia, Tecnología e Innovación del Proyecto Milenio de las Naciones Unidas argumentó que las NT permitirían a los países pobres y subdesarrollados dar el salto hacia la industrialización, puesto que estas tecnologías requieren poco trabajo, mantenimiento o mano de obra; además de ser altamente productivas y baratas (Juma y Yee-Cheong, 2005).

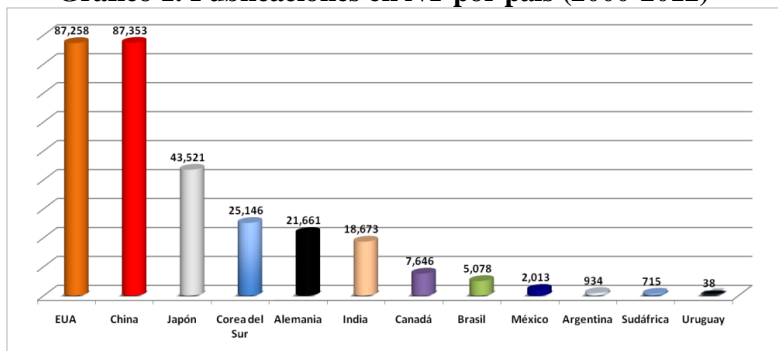
No todas las organizaciones han estado de acuerdo. En 2003 el Grupo ETC, una ONG ambientalista, liderada por Pat Roy Mooney, premio Nobel alternativo, impugnó el colocar a las NT como *balas de plata* capaz de resolver los problemas del subdesarrollo incluyendo el hambre, la enfermedad y la inequidad. Argumentó que estos problemas se derivaban de sistemas sociales desiguales y no de tecnologías inadecuadas (ETC Group, 2003). En 2004, la Sociedad Real y la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido advertía que la nanotecnología, al crear ganadores y perdedores podría generar una división socioeconómica mundial, lo que denominó como *nano-divide* (RSyRAE, 2004).

Independientemente de las posturas a favor o en contra de las NT, éstas se han venido insertando en la economía de una manera importante. En varios países las NT pasan por toda la cadena de desarrollo: investigación, producción y comercialización. Hay algunos países que aventajan y muchos otros que siguen el paso.

En cuanto a la IyD se estima que gobiernos alrededor del mundo han gastado cerca de 67 mil millones de dólares en los últimos 11 años (Harper, 2012). El presupuesto estimado para las NT en EUA es de poco menos de 2 mil millones de dólares para el 2014. Para tener una idea del tamaño de esta inversión, por ejemplo, el presupuesto de México destinado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en 2013 fue de 2 mil millones de dólares (PLE, 2013). Esto quiere decir que el presupuesto total que México destina al CONACYT es el mismo que los EUA coloca para el desarrollo de las NT.

El financiamiento tiene un primer reflejo en el número de publicaciones en nanociencia y nanotecnología que se registran a nivel mundial por las diferentes naciones (gráfico 1).

Gráfico 1. Publicaciones en NT por país (2000-2012)



Fuente: Herrón et al. 2012

Si tomamos sólo el número de publicaciones, China (87, 353) queda por delante de los EUA (87,258). Esto es, claro está, sin hacer una depuración más profunda de los datos; es decir, sin considerar el impacto y la calidad de las publicaciones. Aún así, es evidente que los países desarrollados o con una economía muy grande toman la delantera en la divulgación del nuevo conocimiento nanotecnológico. Muy atrás quedan países como Brasil (5,078), México (2013), Argentina (934), Sudáfrica (715) y Uruguay (38).

Las patentes son generalmente el paso previo a la comercialización de las NT. La Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) (2009), explica que, supuestamente, la propiedad del conocimiento es fundamental para garantizar una comercialización más justa de los bienes. Cameron y Mitchell (2007, p.86) explican que el patentado promueve la innovación de las NT al otorgar posesión exclusiva al dueño del nuevo conocimiento; esto permite mayores ganancias, por lo que la patente se convierte en incentivo. La

triada “incentivo-monopolio-ganancia”, es el marco que domina el sistema de patentes tecnológicas, incluyendo las NT, ya que las patentes tecnológicas normalmente se otorgan por 20 años (Miller et al., 2004, p.66).

Lógicamente, los países que tienen más inversiones son los que concentran el mayor número de patentes (Cuadro I).

Patentes en NT registradas por país (1991-2008)

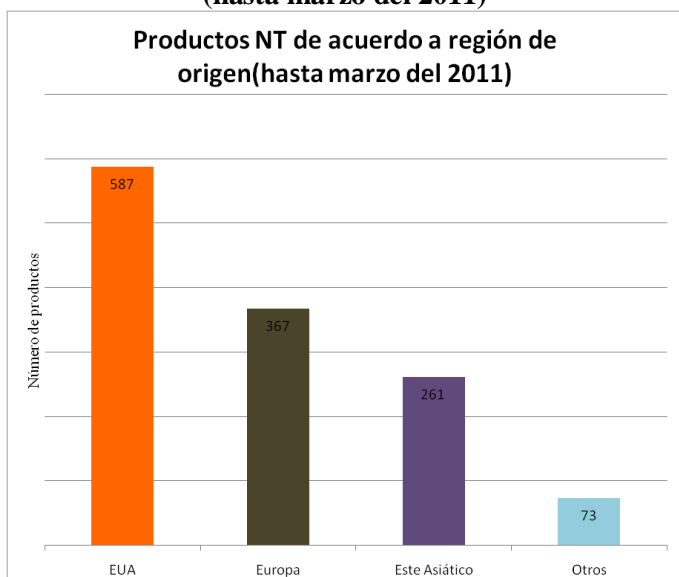
| Oficina de patentes (# de aplicaciones en NT por países líderes) | (Posición) País aplicante | Aplicaciones de patentes en NT |
|--|---------------------------|--------------------------------|
| EUA (19,665) | (1) EUA | 12,606 |
| | (2) Japón | 1,866 |
| China (18, 348) | (1) China | 16,348 |
| | (2) EUA | 805 |
| Corea del Sur (5,963) | (1) Corea del Sur | 4,087 |
| | (2) EUA | 461 |
| Canadá (1,539) | (1) EUA | 825 |
| | (2) Canadá | 192 |
| Taiwán (1,363) | (1) Taiwán | 906 |
| | (2) EUA | 224 |
| Alemania (1,312) | (1) Alemania | 1,182 |
| | (2) EUA | 20 |

Fuente: Dang et al., 2010

En el cuadro anterior observamos que la oficina de patentes de EUA recibió 19,665 solicitudes de patentes en NT para el periodo 1991-2008, de las cuales 12,606 se otorgaron para residentes del mismo país (EUA), seguido de residentes en Japón con 1,866. Para el caso de la oficina de patentes de China, ésta recibió 16,348 aplicaciones de connacionales, seguido de estadounidenses con 805. Las tendencias anteriores se repiten para Corea del Sur, Taiwán y Alemania. Sólo en el caso de Canadá los EUA tienen más patentes nanotecnológicas que el país anfitrión: EUA, 825 y Canadá 192. El dominio de los EUA en la apropiación monopólica del conocimiento nanotecnológico es abrumador.

Otro aspecto que ilustra la integración de una nueva tecnología en la economía es el número de empresas y de productos en el mercado. El Woodrow Wilson Center en Washington D.C. mantiene un inventario de productos nanotecnológicos a nivel mundial y los ordena de acuerdo a su país de origen. Si bien no es comprensivo, ilustra la tendencia a la concentración de producción en ciertas regiones del mundo. Prácticamente el patrón se repite: EUA es líder, seguido de Europa y Asia (Gráfica 2).

Gráfico 2. Productos NT de acuerdo a región de origen (hasta marzo del 2011)



Fuente: WWC, 2013

Uno de los grandes problemas para seguir la manufactura de NT o el uso de estas tecnologías en los procesos productivos es la falta de regulación. A pesar de haber varios estudios sobre la toxicidad de las nanopartículas,³ no existe legislación que

³ Toda nueva tecnología supone nuevos riesgos al medio ambiente y a la salud. Las NT no son diferentes. Existen varios estudios sobre los riesgos a la salud y al medio ambiente. Hay estudios que han demostrado toxicidad en pulmones y cerebro, envenenamiento y paso de nanopartículas tóxicas de la madre al feto

obligue a las empresas a etiquetar sus productos que contengan NT. Además, no existe una regulación comprensiva sobre el uso de NT o nanometariales en productos comerciales, y la legislación que pudiera aplicarse es inadecuada, quizá por las características revolucionarias de los mismos (ICTA, 2009). Por ello, es muy complicado dar cifras exactas del número de productos en el mercado que usan NT en su operación o manufactura; pero a pesar de ello, el inventario del WWC ilustra quienes son los países con mayor número de productos nanotecnológicos en el mercado internacional.

En este apartado se han explorado las principales características de las NT y su impacto en la economía mundial. En los siguientes apartados exploramos cómo la teoría económica nos puede ayudar a interpretar el papel de la tecnología en la economía y cómo las NT pueden tener un reflejo analítico a partir de su contexto de desarrollo.

2. Teorías económicas de la tecnología

2.1 La teoría neoclásica

La teoría neoclásica tiene una concepción lineal y mecánica sobre la generación de tecnología. Los neoclásicos construyen su mapa conceptual a partir de los fundamentos de economistas clásicos como Adam Smith y David Ricardo. Esta teoría tiene tres principios fundamentales: i) *racionalidad*, donde los agentes de la economía, ya sea firmas o individuos, actúan como unidades autónomas pensantes y con un objetivo plenamente identificado; ii) *maximización*, quiere decir que todos los agentes buscan el mayor beneficio posible; en el caso de individuos toma forma de mayor utilidad y en el de firmas, mayor ganancia; y, iii) *información completa*, los agentes actúan de manera independiente con base a información

(ETC Group 2004). También han demostrado alteración en procesos ecosistémicos y daño y modificación de ADN (ETC Group, 2003). Por su parte Polland y colaboradores mostraron cómo los nanotubos de carbono son reconocidos por el organismo de ratones como si fueran asbestos, los caules producen cáncer (Polland et al., 2008).

adecuada y completa, por lo que su decisión es la mejor en cada escenario (Weintraub, s/f).

La literatura neoclásica de principios del siglo XX reconoce tres factores de producción responsables del crecimiento económico: tierra, trabajo y capital. Robert M. Solow cuestionó el efecto causal de los factores productivo tradicionales en el desarrollo económico de EUA. Solow argumento que el *progreso técnico* era la causa en el crecimiento económico de los EUA de posguerra. Solow (1957, p.312) definió al progreso técnico como “todo tipo de desplazamiento de la función producción [...] retardos y aceleraciones, mejoras en la calificación de mano de obra y todo tipo de factores que aparecerán como cambio técnico.” Otros autores simpatizaron con la idea de colocar al centro del crecimiento a la tecnología. Samuelson, por ejemplo, definió al progreso técnico como todos los “adelantos de la ciencia y la ingeniería, a las mejoras industriales, a los nuevos métodos administrativos y a la capacitación profesional de la mano de obra” (1979, p.1989). Posteriormente, Samuelson y Nordhaus (1996, p. 759) describieron a la tecnología como el “cambio del proceso de producción o introducción de nuevos productos que permiten obtener un nivel producción mayor o mejor con la misma cesta de factores”.

La teoría neoclásica no discute el origen del progreso técnico. Lo considera como un factor disponible para ser adquirido por el agente racional en el mercado. Por lo tanto, la tecnología se convierte en un elemento exógeno y ahistórico, que simplemente aparece por circunstancias indeterminadas en el sistema económico y social. Esta es la mayor debilidad de la postura neoclásica respecto a la tecnología. La inmovilidad y el determinismo del modelo, en consecuencia, no son útiles para entender el papel de la tecnología en el cambio económico.

2.2 La teoría neoschumpetereana o evolucionista

La teoría evolucionista o neoschumpetereana se articuló como una contraparte al análisis estático neoclásico del cambio

económico. El evolucionismo estudia el cambio social mediante el uso de modelos dinámicos; es decir, con base a “micro-fundamentar” la naturaleza del cambio económico y social (Morero, 2007, p.2). Este cuerpo teórico se nutre de conceptos de Veblen y, obviamente, Schumpeter en la formulación de su marco analítico.

La influencia más importante proviene de Schumpeter, el cual toma varios conceptos de la biología para explicar el dinamismo económico, en sus palabras:

“Mis teorías pueden ser equivocadas; mis esquemas, con seguridad, no son más que una de tantas posibilidades; pero hay dos cosas de las que estoy seguro: primero, que *se debe de tratar al capitalismo como a un proceso de evolución*, y que todos sus problemas fundamentales arrancan del hecho de que es un proceso de evolución; y, segundo, que esta *evolución* no consiste en los efectos de los factores externos (incluso factores políticos) sobre el proceso capitalista, ni en los efectos de un lento crecimiento del capital, de la población etc[...], *sino de una especie de mutación económica, me atrevo a usar un término biológico, a la que he dado nombre de innovación.*” ([1911]1957, p.12, resaltado nuestro)

La innovación es la causa de los cambios en la economía y del constante movimiento social.⁴ En 1982, Nelson y Winter publican la obra *An Evolutionary Theory of Economic Change*, en la cual construyen analogías con la biología, como previamente lo había hecho Schumpeter, para entender el comportamiento empresarial (genética) y la mutación biológica (innovación). Para ambos autores la innovación es producto de la firma activista, ya que ésta orienta los recursos hacia la innovación. En un ambiente en constante cambio, la firma y la sociedad deben de adaptarse para inducir innovaciones que fundamenten la evolución. La innovación toma carácter

⁴Schumpeter define a la innovación de la siguiente manera: “si variamos la forma de la función de producción y los productos cambian, en vez de cambiar los factores, tenemos una innovación, definimos simplemente a la innovación como el establecimiento de una nueva función de producción” (Schumpeter, 1939, p. 88).

histórico y acumulativo, ya que determina los ciclos largos de crecimiento económico (Nelson y Winter, 1982). Varios neoschumpeterianos han conceptualizado a la innovación de diferentes formas: *sistemas tecnológicos* (Freeman et al., 1982); *paradigmas tecnológicos* (Dosi, 1982) o *estilos tecnológicos* (Pérez, 1983). Estas definiciones comparten un denominador común, la innovación debe de movilizar los recursos de tal forma que se traduzcan en mayores beneficios.

Muchas de las innovaciones son clasificadas por los neoschumpeterianos de acuerdo a su especificidad y su impacto tecnológico en un periodo histórico determinado. Freeman y Pérez (1988, p. 45) realizan una taxonomía al respecto, donde encontramos los siguientes tipos:

- 1) *Innovaciones incrementales*: Son cambios que ocurren de manera constante o continua, pero a un ritmo diferente en cada industria, región o país; el surgimiento de las innovaciones depende de factores socio-culturales, oportunidades, demanda tecnológica y otros.
- 2) *Innovaciones radicales*: Eventos discontinuos que normalmente toman lugar en esquemas de investigación y desarrollo (IyD), empresas, universidades o agencias de gobierno; estas innovaciones traen consigo cierto cambio estructural, pero normalmente éste es pequeño y localizado en un sector o cluster.
- 3) *Cambios del sistema tecnológico*: Las innovaciones tienen un alcance mayor que las radicales, lo cual es evidente en varios sectores económicos. Implican una combinación de innovaciones radicales e incrementales, que van acompañadas de innovaciones administrativas y organizacionales, afectando a varias firmas.
- 4) *Cambios en el paradigma tecno-económico*: Se trata de innovaciones o cambios en el sistema tecnológico de mayor envergadura, y cuyo impacto

es evidente en la generación nuevos productos, servicios, sistemas e industrias.

Cada innovación adquiere relevancia a partir de su impacto en los ciclos largos de crecimiento económico. En la teoría neoschumpeteriana la innovación responde, generalmente, a dos tipos de estímulos: el mercado y la apropiación. En primer lugar, el mercado orienta la innovación mediante el seguimiento de la competencia, la oferta, la demanda y otros factores; en segundo, la capacidad de apropiarse de la innovación (patentes) implica un estímulo que emplaza a innovar (Dosi, 1988). El mercado y la apropiación de la innovación se mueven en torno a la competencia. En este contexto, la competencia sólo puede ser abanderada por la empresa:

...hemos visto como en el nuevo patrón tecnológico la competitividad no es alcanzable sin que el dominio tecnológico esté directamente en manos de la empresa [...] En efecto, la empresa moderna no es un sistema aislado y cerrado sino el núcleo de una red de cooperación con clientes, proveedores, socios e incluso competidores. La empresa que sale a competir con éxito en el mercado internacional es sólo la punta del iceberg, la vanguardia expuesta de una extensa red anclada en la calidad del espacio económico y tecnológico donde opera. La competitividad, entonces, además de estar enraizada en la tecnología, es de carácter estructural (Pérez, 1996, p.14)

La estructura socio-económica, por consiguiente, tiene un papel preponderante en el apalancamiento de la competitividad. Para caracterizar a los factores sociales e institucionales que intervienen en el proceso de innovación, los neoschumpeterianos han construido el concepto de *Sistema Nacional de Innovación (SNI)*. De acuerdo a Freeman (1987, p.1) el SNI es “la red de instituciones en el sector público y privado en la que sus actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías”. Richard Nelson, por su parte, argumenta que el SNI se articula a partir

de la interacción de varios agentes como empresas, instituciones de investigación privadas, universidades, centros de investigación, organizaciones públicas y privadas, agencias militares y otras (Nelson, 1988).

La teoría neoschumpeteriana se ha convertido en un paradigma dominante en el diseño de la política en ciencia y tecnología (CyT). Hoy día la mayoría de países usan en su plataforma científica este paradigma y mucha de la política en CyT parten de este modelo.

2.3 Teoría Marxista de la tecnología

Estudiar a fondo el papel de la tecnología en la teoría marxista es una labor improbable en unas cuantos párrafos. Nuestro objetivo es recaudar, en medida de lo posible, conceptos que nos ayuden a analizar teóricamente a las NT en la economía.

Carlos Marx contrasta con los supuestos de las teorías anteriores; pues explica a la tecnología frente a las relaciones sociales de producción y como resultado de la constante búsqueda de la ganancia y de la competencia Marx ([1894] 1979). Esta forma de analizar la tecnología rompe con el pensamiento tradicional. Para Marx la tecnología es heredada y es también corregida y mejorada en función de los intereses de las relaciones sociales hegemónicas, que termina beneficiando a ciertas clases y grupos. Marx problematiza a la tecnología en la acumulación de capital y en la profundización de la inequidad. La propia tecnología lleva, por tanto, en sí misma, condicionantes sobre las relaciones sociales.

En *El Capital*, Marx explica que la tecnología puede interpretarse de acuerdo a tres momentos en el proceso de producción.⁵ Primero, cuando la tecnología es un *instrumento de trabajo en general*, en donde el capitalista la usa para incrementar la fuerza productiva del trabajo:

⁵De acuerdo al método de Marx existen otras formas más, pero a manera de simplificación presentamos estas tres.

La fuerza productiva del trabajo está determinada por múltiples circunstancias, entre otras por el nivel medio de destreza del obrero, el estado de desarrollo en que se hallan la ciencia y sus aplicaciones tecnológicas, la coordinación social del proceso de producción, la escala y la eficacia de los medios de producción, las condiciones naturales (Marx, [1867] 1979, p. 49)

Segundo, cuando la tecnología es *capital constante*; es decir, cuando ésta ya se integra al proceso de producción y no se valoriza frente al capital variable (mano de obra):

La parte del capital, pues, que se transforma en medios de producción, esto es, en materia prima, materiales auxiliares y medios de trabajo, no modifica su magnitud de valor en el proceso de producción. Por eso la denomino parte constante del capital o, con más concisión, capital constante (Marx, [1867] 1979, p. 252).

Y, tercero, cuando se puede interpretar a la tecnología *como parte de la composición orgánica del capital*, es decir, lo que corresponde a la razón entre la masa de capital invertida en medios de producción o capital constante (maquinaria, equipo, tecnología, etc.) y la fuerza de trabajo o capital variable (mano de obra), “la composición de valor del capital, en cuanto se halla determinada por su composición técnica y es un reflejo de ésta, es lo que nosotros llamamos composición orgánica del capital” (Marx, [1867] 1979, p. 179).

La tecnología para Marx se convierte en una categoría económica, en parte de una relación social de producción vinculada a un interés de clase particular, de ahí que explique que la tecnología se desarrolle respondiendo al principio de la gran industria y “sin tener en cuenta para nada a la mano humana” (Marx, [1867] 1979, p. 451)

A ello se suma que así como la producción en gran escala se desarrolla por primera vez en la forma capitalista, así

se desarrollan por un lado la avidez furiosa de ganancias, y por el otro la competencia que obliga a una producción lo más barata posible de las mercancías, lo que hace aparecer a esta economía en el empleo del capital constante como peculiar del modo capitalista de producción, y por consiguiente como función del capitalista. Si por una parte el modo capitalista de producción impulsa hacia el desarrollo de las fuerzas productivas del trabajo social, así impulsa, por la otra, hacia la economía en el empleo del capital constante (Marx, [1894] 1979, p. 93).

Marx establece una interrelación entre la ganancia, la competencia y la tecnología. La ganancia se vuelve la guía de la producción, la competencia se convierte en una provocación; en otras palabras, en un acicate de supervivencia para el capitalista, y la tecnología se vuelve una función o herramienta para que el capitalista logre tanto su supervivencia como un incremento, en primera instancia, de la ganancia. Posteriormente, los avances tecnológicos se socializan mediante la lucha de clases o la generalización de la ganancia extraordinaria.

3 Preguntas claves sobre la tecnología en la economía y las NT

En esta sección se presenta una serie de preguntas centrales a ser respondidas por las principales teorías que estudian a la tecnología en la economía. Cabe aclarar que no se trata de una visión completa del contenido teórico-metodológico de cada paradigma; más bien se trata de un esquema simplificado del uso de las herramientas analíticas que cada corriente ofrece. Asimismo, intentamos contextualizar a las NT de acuerdo a la pregunta y su realidad económica frente a los distintas teorías.

- ¿Qué es el desarrollo tecnológico o innovación?

Para la teoría neoclásica la tecnología es un factor de la función de producción; es la fuente del incremento en la productividad,

inexplicable sin ésta (Solow, 1957, p.312). La teoría neoshumpeteriana entiende a la innovación como un proceso acumulativo que impulsa cambios parciales o completos en el SNI pero que implica movilizar los recursos de una zona de menores rendimientos a una de mayores beneficios (Peña, 2003). La innovación ha sido caracterizada por los neoshumpeterianos de diferentes maneras: *paradigmas tecnológicos* (Dosi, 1982), *estilos tecnológicos* (Pérez, 1983) o *sistemas tecnológicos* (Freeman et al., 1982). Para Marx, las nuevas tecnologías implican el desarrollo de las fuerzas productivas; y, a su vez, éstas no pueden explicarse de manera desligada al trabajo, al aumento de productividad y a las relaciones capitalistas, es un producto social y político (Marx, 1861-1863 en Dussel, 1984). Las NT no son sólo una innovación, sino más bien un paquete de tecnologías disruptivas, con capacidad de llegar a todos los sectores industriales mediante la habilitación de otras tecnologías. Además, las NT permite explotar, por primera vez en la historia del ser humano, propiedades de la materia nunca antes vistas, y consecuentemente manufacturar productos nunca antes vistos. Las NT implican cambios en las relaciones comerciales, en la producción, en el cuidado del medio ambiente y en la salud humana. Posiblemente estamos frente a un cambio de paradigma tecnológico en el cuerpo de las NT.

- ¿Por qué se innova en la sociedad moderna?

La teoría neoclásica no contesta esta pregunta. La tecnología aparece disponible en el mercado para que el agente racional haga uso de ella (Solow, 1957). Los neoshumpeterianos son más concretos y establecen que las innovaciones provienen del conocimiento acumulado en el SNI, pero la motivación principal es el incremento de la competitividad (conducente a mayores beneficios). La innovación se vuelve un proceso rutinario de las empresas para mantener sus ejes competitivos o, en otras palabras, en “la principal herramienta de la transformación productiva [...] condición fundamental para alcanzar y mantener la competitividad” (Pérez, 1996, p.16). Para Marx, las razones principales del surgimiento de nuevas

tecnologías son “la avidez furiosa de ganancias” y “la competencia que obliga a la producción lo más barata posible[...]mediante] el empleo de capital constante [maquinaria]” (Marx, [1894] 1979, p.93). Claudio Katz expande esta explicación:

Innovar significa incrementar la fuerza social del trabajo, en condiciones impuestas por las relaciones de producción dominantes. Bajo el capitalismo las normas que definen cómo, cuándo, y para qué se innova son las leyes de acumulación. El cambio tecnológico es un fenómeno social, porque está enteramente determinado por las características de sistema capitalista (Katz, 1996, p.158)

En este contexto, las NT están dentro de la lógica IyD-competitividad-ganancia. La gran mayoría países impulsan las NT con el objetivo de lograr un incremento de la competitividad (Foladori et al., 2012). Es más, en muchas de las iniciativas nacionales o planes sobre las NT, el sentido de usarlas como herramientas para incrementar la competitividad es explícito. El beneficio social y humano que pudieran traer se subordina a este objetivo.

- ¿Quiénes son los responsables de la innovación o del desarrollo de nuevas tecnologías?

En la teoría neoclásica esto es una laguna. La tecnología simplemente aparece en el mercado, quienes la impulsan son agentes indeterminados. Se asume que son agentes económicos que, como otros, participan en la producción de estos factores. En la teoría neoshumpeteriana todos los agentes que forman el SIN participan en el proceso de innovación; no obstante, la empresa es la punta del iceberg o la abanderada de la innovación (Pérez, 1996). En contraste, Marx explica que elementos como la destreza del trabajador, los medios materiales de producción y la ciencia aplicada al proceso de trabajo se vuelven medios para mejorar la tecnología, pero siempre subsumidos a las relaciones sociales capitalistas

(Dussel, 1984). La mayoría de las patentes NT están en manos de unos pocos países, sobre todo industrializados o con un mercado interno grande (caso de China); esto lo ilustramos en el cuadro 1 y el gráfico 2. Es relevante mencionar que EUA mantiene una ventaja importante por sobre los demás países en la carrera nanotecnológica. Los principales actores que participan en el diseño de la política pública de CyT son las empresas, el gobierno y las universidades, lo que deja a fuera sectores importantes de la sociedad (sindicatos, organismos no gubernamentales, asociaciones de consumidores) (Foladori y Záyago, 2008).

- ¿Qué efectos tiene la innovación o la nueva tecnología en el empleo?

En la teoría neoclásica se advierte que no hay un impacto en el empleo. Por el contrario, el incremento de la competitividad y la productividad laboral hará que el exceso de mano de obra consiga trabajo en otros sectores o áreas. En la corriente neoshumpeteriana, se argumenta que si la innovación genera nuevos productos se tiene la tendencia a crear más empleo, pero si las innovaciones ocurren en procesos el efecto es opuesto (Morero, 2007, p.27). Marx, en contraste, explica que la introducción de la maquinaria o la tendencia general por incrementar la composición orgánica del capital termina por desplazar mano de obra o como él lo expone: “mano humana” (Marx, [1867] 1979, p.451). En el mismo sentido, se argumenta que la nueva tecnología, al aumentar la productividad general del trabajo, provoca un abaratamiento del costo de la mano de obra; pero si el incremento de productividad ocurre en sectores más vinculados con los productos de la canasta básica, la reducción del costo de mano de obra será mayor (Foladori y Melazzi, 1990). Las características revolucionarias de las NT pueden tener un impacto negativo en el empleo, ya sea por su multifuncionalidad, por requerir menos materias primas o por extender la duración de los productos (para un análisis más completo de esto véase Invernizzi y Foladori, 2010). La particularidad de las NT remiten a un análisis que vaya más allá de la teoría de la compensación.

- ¿Qué papel tiene la tecnología en la reducción de pobreza e inequidad?

La teoría neoclásica no tiene respuesta específica. La pobreza e inequidad en general no parecen ser elementos centrales en su análisis; sin embargo, se asume que el crecimiento económico derivado de un aumento en productividad beneficiará a los que menos tienen (efecto cascada). La corriente neoshumpeteriana es explícita y establece que los países desarrollados al usar tecnologías más nuevas tienen la posibilidad de ser más competitivos frente a sus contrapartes en vías de desarrollo; a esta dinámica se le conoce como *tendencia centrífuga* (Pérez, 2001, p.121). Para Marx, no hay una relación mecánica entre la tecnología y la disminución de la pobreza e inequidad. Cabe recordar, sin embargo, que la prioridad para el capitalista es el incremento de la ganancia, lo que tendencialmente ocasiona el aumento de la composición orgánica del capital y el consecuente desplazamiento de mano de obra, así como el empobrecimiento del proletariado en general (Marx, [1894], 1979). El uso de las NT en beneficio de los que menos tienen se puede diluir al mantenerse la tendencia de la concentración de inversión, patentes y producción en manos de trasnacionales o países desarrollados. Aunado a lo anterior está la falta de orientación pública del desarrollo nanotecnológico. La estrategia de reducción de pobreza mediante a CyT deviene de una lógica mecánica: más tecnología = a menos pobreza. Esto no es necesariamente el caso. La pobreza e inequidad son resultado de una problemática social más profunda y no de una insuficiencia tecnológica.

- ¿A quién beneficia la tecnología y a quién perjudica?

Para la teoría neoclásica la sociedad en su conjunto obtiene beneficios al aumentar la productividad y, consecuentemente, al abaratare los costos de los bienes (Samuelson, 2005). En la teoría neoshumpeteriana el beneficiado es el SNI, es decir, la sociedad en su conjunto que termina co-evolucionando junto con la tecnología (Dosi, Teece y Chytry, 1998). En el marxismo, el que obtiene el beneficio al introducir nueva

tecnología, en primera instancia, es el capitalista, ya que incrementa su ganancia y posteriormente la sociedad a partir de la lucha de clases (Marx, [1894] 1979; [1867] 1979). El beneficio social de las NT depende de los intereses políticos y económicos de los fuerzas que moldean su desarrollo. Las NT se acoplan a las estructuras económicas y políticas subsistentes, y no pueden escapar a su influencia. Una muestra de lo anterior es la realidad de la concentración de patentes, empresas y productos en manos de pocos actores. Esto, sin embargo, no es responsabilidad de los nanotecnólogos o los que impulsan el conocimiento científico de estas tecnologías. El quién dispone del financiamiento determina, en la mayoría de los casos, la orientación de la tecnología. Actualmente el grueso de la plataforma científico-tecnológica responde a las condicionantes del mercado y en muchas ocasiones la ciencia básica se direcciona desde antes, sobre todo con convocatorias de investigación que cubren necesidades comerciales ¿estaremos frente a la consolidación de la ciencia de mercado por sobre la ciencia en beneficio del hombre?

Conclusiones

Las NT representan un avance científico y tecnológico histórico. Su impacto económico real es poco comprendido, quizá por desconocimiento de sus potencialidades tecnológicas, regulación y enlace productivo concreto. Empero, en este artículo hemos ilustrado su inserción en la economía mundial y revelado su importancia; en cuanto a su financiamiento, patentado y comercialización. También hemos hecho un intento por analizar sus implicaciones desde las principales teorías económicas sobre la tecnología.

Al respecto, podemos decir que la economía neoclásica carece de insumos para responder las preguntas más básicas sobre los efectos de la tecnología en la sociedad. El paradigma neoshumpeteriano es el dominante en el diseño de la política científica, pero se queda corto al intentar explicar las tendencias globales de concentración y acumulación. En contraste, el

marxismo provee de un análisis más abarcador que permite entender como la concentración se viabiliza por la competencia y la búsqueda de ganancia monopólica. En este contexto las NT se desarrollan e insertan a una tendencia concentradora de su investigación y aplicación, en detrimento del beneficio que éstas pudieran traer a la sociedad. Las NT son una realidad económica y social que inciden en todos los sectores productivos. Este es un primer intento de construir un itinerario teórico para poder entender sus implicaciones globales.

Referencias

- BM (Banco Mundial). *Knowledge for Development: Capacity Building for the Knowledge Economy*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Barry, A. (2012). *Good news: Your beer could last longer*. Obtenido el 2 de febrero de 2013 en: <http://www.thejournal.ie/beer-shelf-life-599346-Sep2012/>
- Berh (2013). *Nanophase's, nanoparticles*. Obtenido el 10 de agosto de 2013 en: <http://www.nnin.org/sites/default/files/files/nnin1013.pdf>
- Cameron, Nigel and Mitchell, Ellen (2007). *Nanoscale, Issues and Perspectives for the Nano Century*. New, Jersey: Wiley & Sons.
- CHT (2013). *Nouvel E*. Obtenido el 12 de agosto de 2013 en: www.chtbrasil.com.br
- Dang, Yang; Zhang, Yulei; Li, Fang; Chen, Hsichung; Roco, Mihail (2010). "Trends in worldwide nanotechnology patent applications: 1991-2008". *Journal of Nanoparticle Research*, 12, pp. 687-706.
- Dosi, G.; Teece, D. & Chytry, J. (1998). *Technology Competitiveness: Perspectives on Industrial and Corporate Change*. Oxford: Oxford University Press.
- Dosi, G. (1982). "Technological paradigms and technological trajectories". *Research Policy*, vol. 11, 147-62.

- Dosi, G. (1988). "Sources , Procedures and Microeconomic Effects of Innovation". *Journal of Economic Literatura* (26), pp.1120-1171.
- Dussel, Enrique (1984). *Carlos Marx, cuaderno tecnológico-histórico*. Puebla: Ediciones especiales BUAP.
- Edwards, S. (2006). *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?* Berlin: Wiley-VCH.
- ETC Group (2004). *La invasión invisible del campo*. Ottawa: ETC Group.
- ETC Group (2003). *The Big Down: Atomtech - Technologies Converging at the Nano-scale*. Ottawa: ETC group
- Foladori, Guillermo & Melazzi, Gustavo (1990). *Economía de la Sociedad Capitalista*. Montevideo: Ediciones de la Banda Oriental.
- Foladori, G. & Zayago Lau, Edgar (2008). The Role of Organized Workers in the regulation of Nanotechnologies. In Cozzens, S. & Wetmore, J. (eds.) *Nanotechnology and the Challenges of Equity*. New York: Springer.
- Freeman, Chris and Soete, L. (1997). *Economics of Industrial Innovation*. The MIT Press.
- Freeman, C. and Perez, C. (1988). "Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour" in DOSI et al., (eds.) *Technical Change and Economic Theory*. London: Francis Pinter.
- Freeman, C., Clark, J. & Soete, L. (1982) *Unemployment and Technical Innovation*. London, Pinter.
- Harper, T. (2012). Nanotechnology Funding: a Global Perspective. In: National Nanotechnology Initiative Workshop, *Regional, State and Local Initiatives in Nanotechnology (RSL)*. Portland, EUA. NNI, EUA. Obtenido 12 de agosto de 2013 en: http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/global_funding_rsl_harper.pdf
- Herron, Patrick; Lenoir, Timothy; McGuire, Aaron & Weiss, Benjamin (2012). GN2 Globonano Database: a

global nanotechnology research and development database, 2000-2012 [Computer file]. Durham, NC: Duke University, 2012.

- ICTA (Internacional Center for Technology Assessment) (2009). Principles for the supervisión of nanotechnologies. Washington, D.C.: ICTA.
- Invernizzi, N. & Foladori, G. (2010). “Nanotechnology Implications for Labor”. *Nanotechnology, Law & Business* (68) pp. 68-78.
- Juma, Calestous & Yee-Cheong, Lee (coord.) (2005). *Innovation: Applying Knowledge in Development*. London, Sterling, Va.: Earthscan, Millennium Project
- Katz, Claudio (1996). “La concepción marxista del cambio tecnológico”. *Revista Buenos Aires Pensamiento Económico*, n.1, pp.155-180
- Kesteven, G. (n/d). *BMC Fourstroke*. Obtenido el 2 de julio de 2013 en: <http://www.bikeradar.com/gear/category/bikes/mountainbikes/product/review-bmc-fourstroke-fs01-11569>
- Marx, Karl ([1867] 1979). *El Capital*. Libro I/ Vol. I. México DF: Siglo XXI Editores
- Marx, Karl ([1894] 1979). *El Capital*. Libro III/ Vol. VII. México DF: Siglo XXI
- Miller G. & Senjen R. (2008). *Out of the laboratory and on to our plates: Nanotechnology in food and agriculture*. London: Friends of the Earth Australia. Obtenida el 3 de agosto de 2013 en: http://www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Nano_food_report.pdf
- Morero Hernan, A. (2007). *El evolucionismo: una presentación de su temática, metodología y objetivos*. Contribuciones a la Economía, julio. Obtenido el 2 de febrero de 2012 en: <http://www.eumed.net/ce/2007b/ham.htm>
- Nelson, Richard (1988). Institutions Supporting Technical Change in the United States pp. 312-329. In Dosi, Giovanni et al. (editors), *Technical Change and Economic Theory*. London/ New York: Pinter.

- Nelson, Richard & Winter, Sydney (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: Harvard University Press.
- NCI (National Cancer Institute). *The Abraxane Story: A Nanoparticle Platform Delivers Improved Anti-Cancer Activity*. Obtenido el 2 de febrero de 2013 en: http://nano.cancer.gov/action/news/nanotech_news_2006-01-30e.asp
- NNI (National Nanotechnology Initiative) (2013a). *Nanotech-101*. Obtenido el 4 de agosto de 2013 en: <http://www.nano.gov/nanotech-101/what>
- NNI (National Nanotechnology Initiative) (2013b). *Supplement to the President's Budget for Fiscal Year 2014*. Obtenido el 12 de agosto de 2013 en: http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/ni_fy14_budget_supplement.pdf
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) (1996). *The Knowledge Bases-Economy*. Paris: OCDE.
- PLE (Proyecto de Ley de Egresos) (2013). *Proyecto de decreto de ley de egresos de la federación 2013*. Obtenido 14 de agosto de 2013 en: http://www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/ppef/2013/exposicion/proyecto_decreto.pdf
- Pérez, Carlota (1996). “Nueva concepción de la tecnología y sistema nacional de innovación”. *Cuadernos de Cendes*, 13, (31) pp.9-33
- Pérez, Carlota (1983). “Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems”. *Futures*, 15 (5), pp. 357-375
- Poland, C.A.; Duffin, R.; Kinloch, I; Mayonard, A.; Wallace, W.A.H.; Seaton, A.; Stone, V.; Brown, S.; MacNee, W.; Donaldson, K. (2008). “Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos- like pathogenicity in a pilot study”. *Nature Nanotechnology*; (doi:10.1038/nnano.2008.111).

- (RS&RAE) Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience*
- *and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties* (Policy document 20/04). London: The Royal Society and The Royal Academy of Engineering. Obtenido 12 de agosto de 2013 en: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.html>
- Salamanca-Buentello F., Persad D.L., Court E.B., Martin D.K., Daar A.S., Singer P. (2005). “Nanotechnology and the Developing World”. *PLoS Medicine*, 2(5), Obtenido el 12 de agosto de 2012 en: <http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=getdocument&doi=10.1371/journal.pmed.0020097>
- Samuelson, P. (2005). *Economía*. Mexico D.F.: McGraw Hill
- Samuelson, P. (1979). *Curso de Economía Moderna*. Madrid: Aguilar Ediciones.
- Samuelson, P. & Nordhaus, W. (1996). *Economía*. Madrid: McGraw Hill.
- Schumpeter, J. A. ([1911]1957). *Teoría del desenvolvimiento económico*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles*. New York: McGraw Hill
- Solow, M. Robert (1957). “Technical Change and the Aggregate Production Function”. *The Review of Economics and Statistics*, 39 (3) pp. 312-320
- SpecialChem (2013). *New Nanoprene Development from LANXESS*. Obtenido el 2 de agosto de 2013 en: <http://www.specialchem4polymers.com/resources/latest/displaynews.aspx?id=3075>
- Suzano (2013). *Nano films*. Obtenido el 2 de agosto de 2013 en: www.suzano.com.br
- TipTop (2013). *TipTop the One Omega DHA Sandwich*. Obtenido el 10 de agosto de 2013 en: <http://www.tiptop.com.au/theone/theoneomega3-sandwich>

- Weintraub, R. (n/d). *Neoclassical Economics. The Concise Encyclopedia of Economics*. Obtenido el 3 de agosto de 2013 en: <http://www.econlib.org/library/Enc1/NeoclassicalEconomics.html>
- (WWC) Wodrow Wilson Center. (2013). *Project on Emerging Nanotechnologies [PEN]* Obtenido el 2 de agosto de 2013 en: <http://www.nanotechproject.org/>