



Convergencia de innovación en el nuevo paradigma tecnológico denanotecnología entre países¹

Convergence of innovation in the nanotechnology paradigm across countries

Alenka Guzmán^{1,*}, Edgar Acatitla Romero² y Flor Brown Grossman²

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México

²Universidad Nacional Autónoma de México, México

Recibido el 9 de diciembre de 2016; aceptado el 16 de febrero de 2017

Disponible en Internet el 11 de diciembre de 2017

Resumen

La convergencia de la innovación implica un paradigma en el que los hallazgos y la creación de tecnología ocurren en la intersección de múltiples disciplinas y organizaciones. La nanotecnología se revela como un nuevo paradigma tecnológico que ofrece un cambio radical en la solución de problemas tecnológicos y que suscita una nueva ola de procesos, productos y sistemas sociales y organizacionales. Así, la convergencia de la innovación en nanotecnología involucra fuentes de conocimiento científico, tecnológico y formas organizacionales que posibilitan el desarrollo de la tecnología. Este artículo se propone analizar el fenómeno de la convergencia de la nanotecnología en el plano de la dinámica de innovación tecnológica de los países, particularmente si es posible que los países converjan en la innovación en este paradigma tecnológico. Los hallazgos de esta investigación permiten corroborar la convergencia en este nuevo paradigma tecnológico entre países en el largo plazo, en la medida en que los países menos avanzados alcancen mayores tasas de crecimiento de innovación en nanotecnología que el país líder, a condición de lograr una mayor acumulación de conocimiento tecnológico mediante la cita de patentes previas de las patentes concedidas en nanotecnología.

Palabras clave: convergencia condicional tecnológica y de innovación, paradigma nanotecnología,

Códigos JEL: O33; O47

¹ Los autores agradecen el apoyo de Edgar Castañeda en la recopilación de información de patentes.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: alenka.uami@gmail.com (A. Guzmán)

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Abstract

Convergence in innovation implies a paradigm in which the findings and creation of technology happen at the intersection of multiple disciplines and organizations. Nanotechnology is revealed as a new technological paradigm, one that offers a radically new solution to technological problems and that brings to the fore a new wave of processes, products and social and organizational systems. Thus, innovation convergence in nanotechnology involves sources of scientific and technological knowledge and organizational methods that enable technological development. In this article we have set out to analyze the phenomenon of convergence in nanotechnology from the perspective of countries' technological innovation dynamic, particularly if it is possible for countries to have innovation convergence in this technological paradigm. The findings of this research make it possible to corroborate the existence of long-term convergence in this new technological paradigm between countries, insofar as less-developed countries may achieve higher rates of growth in nanotechnological innovation than the country at the forefront, provided that such countries manage to accumulate more technological knowledge by citing patents prior to the patents granted in the field of nanotechnology.

Key words: technological and innovation conditional convergence, nanotechnology paradigm.

JEL Codes: O33; O47

Introducción

El progreso tecnológico mundial registrado en las últimas décadas ha dado lugar al surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos, vinculados estrechamente a hallazgos científicos trascendentales en diferentes áreas del conocimiento. Algunos países han destacado por su liderazgo en la dinámica innovativa de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs), de las biotecnologías y más recientemente de las nanotecnologías. En la idea de convergir en la incorporación de estos paradigmas tecnológicos, y alcanzar a los países innovadores líderes, los países seguidores se han preocupado por transferir tecnología extranjera de punta, desarrollar competencias de aprendizaje y absorción de tales tecnologías, mejorar sus entornos institucionales, canalizar sus esfuerzos hacia la investigación y desarrollo, entre otras estrategias y, así, desarrollar capacidades tecnológicas y de innovación endógenas. El dinamismo en la innovación y la difusión de estos nuevos paradigmas en los países ha sido considerado un elemento crucial para explicar su desempeño económico. Justamente éste ha sido uno de los incentivos para que los países impulsen procesos de convergencia tecnológica y de innovación.² El análisis de las causas, los procesos y los patrones de convergencia de innovación ha sido la preocupación de estudios diversos (Fagerberg, 1987), y de manera particular la confluencia de distintas tecnologías, industrias o instrumentos en un todo unificado (Kim Kim y Koh, 2014; Kim, *et al.*, 2015; Lee, *et al.*, 2015; Erman y Finsati, 2015, Park y Lee, 2015; Oh y Joo, 2015).

La convergencia de la innovación implica un paradigma en el que los hallazgos y la creación de tecnología ocurren en la intersección de múltiples disciplinas y organizaciones. La

² En la hipótesis clásica de la convergencia económica entre países está implícito el papel de la tecnología. La habilidad de un país, bajo ciertas condiciones, de crecer más que el líder inicial se identifica como un aspecto central de esta hipótesis (Abramovitz y David, 1996). Históricamente los países han desarrollado habilidades diferenciadas que los han llevado en el largo plazo a convergir en los diferentes paradigmas tecnológicos.

nanotecnología se revela como un nuevo paradigma tecnológico que ofrece un cambio radical en la solución de problemas tecnológicos y que suscita una nueva ola de procesos, productos y sistemas sociales y organizacionales (National Research Council, 2014). Así, la convergencia de la innovación en nanotecnología involucra fuentes de conocimiento científico, tecnológico y formas organizacionales que posibiliten el desarrollo de la tecnología.

En el proceso de desarrollo e instauración de este nuevo paradigma, Estados Unidos ha jugado un papel protagónico seguido por otros países industrializados y con la marginal pero creciente participación de países emergentes. Se considera relevante el estudio teórico y empírico que permita corroborar si es posible la convergencia de otros países con el país líder en el largo plazo en el nuevo paradigma de las nanotecnologías, así como identificar los factores que condicionan tal proceso de convergencia.

En tal contexto, el propósito de este artículo es identificar primeramente la brecha tecnológica y de innovación y posteriormente proponer un modelo que pruebe si es posible la convergencia entre países en las nanotecnologías. Las preguntas ejes de esta investigación son las siguientes: ¿Es posible la convergencia tecnológica y de innovación entre países industrializados y entre países industrializados y emergentes en el nuevo paradigma tecnológico de la nanotecnología en el largo plazo?, ¿a qué factores está condicionada esta convergencia tecnológica y de innovación? Suscribimos a manera de hipótesis que se espera que la convergencia tecnológica y de innovación en las nanotecnologías entre países en el largo plazo esté condicionada a la existencia de capacidades tecnológicas, capacidades de absorción tecnológica y capacidades sociales (Rogers, 2003 y Abramovitz, 1986).

El trabajo tiene cuatro secciones. En la segunda se reflexiona sobre la convergencia cognitiva y social de las nanotecnologías. En la tercera se identifica la evolución, la naturaleza y las brechas de innovación entre países en las nanotecnologías. En la cuarta sección se estima y analiza la convergencia condicional entre países en las nanotecnologías. Finalmente, se presentan las conclusiones.

Las nanotecnologías y nanociencias: convergencia del conocimiento científico y tecnológico

Las nanotecnologías se revelan como un paradigma emergente (Poole y Owens, 2007; Maldonado, 2007; Takeuchi, 2011; Igami y Ozakaki, 2007 y OCDE, 2013). Su trascendencia se apunala por el hecho de que involucran una revolución científica y tecnológica basada en los conocimientos y habilidades con el fin de medir, manipular y organizar la materia a la nanoescala de una millonésima parte de milímetro (Royal Society, 2004).

En el contexto de las nanotecnologías como nuevo paradigma tecnológico, la convergencia se plantea en términos de la adopción generalizada de una tecnología que ofrece un cambio radical en la solución de problemas tecnológicos y que suscita una nueva ola de procesos, productos y sistemas sociales y organizacionales. La convergencia implica una confluencia en el plano cognitivo, tecnológico y de la actividad humana (Roco y Branbridge, 2013).

Aunque en otros paradigmas tecnológicos previos se ha registrado una confluencia entre la ciencia y la tecnología, en el caso de la nanotecnología la convergencia cognitiva es mucho más amplia pues interactúan diferentes campos de las ciencias y las tecnologías. El antecedente son las nano-ciencias, en cuyo desarrollo y hallazgos confluyen la física, la química, la biología, los campos científicos y de ingeniería, computación y sistemas a nivel de nanoescala

(incluyendo aquellos con propiedades térmicas, eléctricas, magnéticas, ópticas y químicas) (Roco y Bainbridge, 2001 y 2013). En el caso de las nanotecnologías son cuatro los campos en los que las disciplinas tecnológicas confluyen y encuentran varios sectores de aplicación: i) nano-metrología/ nano análisis; ii) la nano-biotecnología /nano-medicina; iii) nanomateriales /nano-química/ nano-electrónica/, y iv) nano-óptica (Abicht *et al.*, 2006: 17). Actualmente la confluencia cognitiva es aún mayor: la confluencia nano-tecnología –biotecnología-tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la cual es conocida como confluencia cognitiva Nano-Bio-TIC (Confluence Nano-bio-ICT-cognitive –NBIC-) (Bainbridge, 2007). Hoy, el proyecto de Convergencia del conocimiento y la tecnología para el beneficio de la sociedad (*Convergence of Knowledge and Technology for the Benefit of Society* -CKTS-), auspiciado por instituciones de diversos campos científicos y varios países, reconoce que tal convergencia es la oportunidad central del progreso en el siglo XXI (Roco y Bainbridge, 2013).

Por su naturaleza interdisciplinaria, la nanotecnología abre amplias oportunidades de investigación y desarrollo y paradigmas potenciales en nanomateriales, productos manufactureros de aplicación masiva, salud y medicina molecular, procesos ambientales y de energía, biotecnología y agricultura, electrónica, información y comunicación y seguridad nacional (Allarakhia, 2011).

El enorme potencial de innovación que se abre con el nuevo paradigma tecnológico está basado en el hecho de que la materia posee diferentes propiedad al nivel de nano-escala.³ Se tiene la expectativa de que las nanotecnologías podrán ser estratégicas para las competencias de la industria, el sector militar y el espacial⁴. Entre las innovaciones que se perfilan hacia un beneficio social están las siguientes: procesos productivos basados en energía barata, no contaminante y en general con “mejor comprensión y conservación de la naturaleza (Roco, 2011: 427), con una elevada productividad en la agricultura y en la industria, mayor velocidad en la tecnologías de la información y la comunicación, mejoras médicas, métodos revolucionarios para obtener energía o para hacer el agua bebible (Roco, 2007; Royal Society, 2004; Hall, 2005). Asimismo, el desarrollo de instrumentos con una clase de propiedades, funciones y desempeño. Todo esto supone que la transición hacia un modelo productivo donde los materiales estén hechos etapa por etapa donde la decisión de construir nuevos materiales se toma al átomo para obtener las características deseadas (Müller y Righi, 2002)⁵.

En relación con el paradigma de las TICs o el de la biotecnología, las nanotecnologías podrían ser consideradas un meta-sistema que se extenderá o confluirá hacia varios paradigmas tecnológicos, pero con un liderazgo cognitivo⁶. Así se hace referencia a la nano-biotecnología, la nano-microelectrónica, etc. Varios estudios coinciden en la importancia de los beneficios que se obtendrán del desarrollo de las nanotecnologías, que se extenderían a diversos campos industriales y de servicios, de tal forma que modificarán el modo de vida de la sociedad con un amplio impacto en el desarrollo económico y social (OCDE, 2013). En suma, se prevé

³ Comparando cada elemento a nivel macro, que tiene cierto color, consistencia, propiedades, a nivel de nano-escala, los sistemas, los instrumentos de esta misma materia pueden desplegarse de una manera totalmente diferente (Palmberg, Dernis y Miquel, 2009; Poole y Owens, 2007; Hall, 2005; Royal Society, 2004).

⁴ “La nanotecnología está dirigiéndose hacia un propósito general hacia el 2020, hacia cuatro generaciones de productos con una mayor complejidad estructural y dinámica: i) nanoestructuras pasivas, 2) nanoestructuras activas, 3) nanosistemas, y 4) nanosistemas moleculares” (Roco, 2011: 427).

⁵ G. Müller y M.L. Righi, “Nanochimie und Nanometaterialien. Venture Capital, *Magazine Nanotechnologie*, 2002: 28-29 citado en Abicht, Freikamp y Schumann, 2006 : 20.

⁶ Para una discusión más amplia sobre las revoluciones tecnológicas y los paradigmas técnico-económicos, véase Pérez (2009).

que la nanotecnología será la convergencia clave entre la ciencia, la economía y el futuro de la sociedad (Bainbridge, 2007; Roco, 2007). Sin embargo, esta revolución no sólo presupone cambios institucionales, sino que también provocará cambios socio-institucionales (Pérez, 2004).

Evolución, naturaleza y brechas de innovación entre países en las nanotecnologías

El embrión de las nanotecnologías es posible rastrearlo en los proyectos de nanociencias en universidades e institutos (Cooper y Barsen-Basse, 2006; Roco, 2011 y 2013). La conferencia magistral Feynman (1959) fue seminal para el desarrollo futuro de las nanociencias y nanotecnologías. Otros trabajos pioneros que contribuyeron al desarrollo de las nanotecnologías fueron los de Drexler (1981, 1986) y la obra de Drexler y Smalley (2003).⁷ El gasto destinado a la I+D en las nanotecnologías no es fácilmente identificable durante la década de los ochenta. En una etapa inicial los empresarios estaban con la incertidumbre de invertir en este nuevo campo del conocimiento, y no invirtieron fuertemente en los esfuerzos de I+D, pero en las universidades e institutos de investigación se gestaban las nuevas ideas donde confluían diversos campos científicos hasta llegar a proponer cambios radicales en las tecnologías.

Hasta el inicio del siglo XXI se advierte un despliegue sustancial de financiamiento hacia las actividades de I+D en este paradigma emergente. De 1997 a 2009 el gasto gubernamental en I+D en el mundo registró un crecimiento promedio anual de 16.6%. El de Estados Unidos fue de 19.5% promedio anual; el de la Unión Europea, de 25.4% y de Japón, de 24.7%. El crecimiento más sorprendente es el realizado en conjunto por países de nueva industrialización (Corea y Taiwán) y emergentes (China, Rusia, India, entre otros). En 2008 el gasto en I+D global con financiamiento privado y público fue de 15 mil millones de dólares, del cual Estados Unidos contribuyó con 3.7 miles de millones de dólares (Roco, 2011).

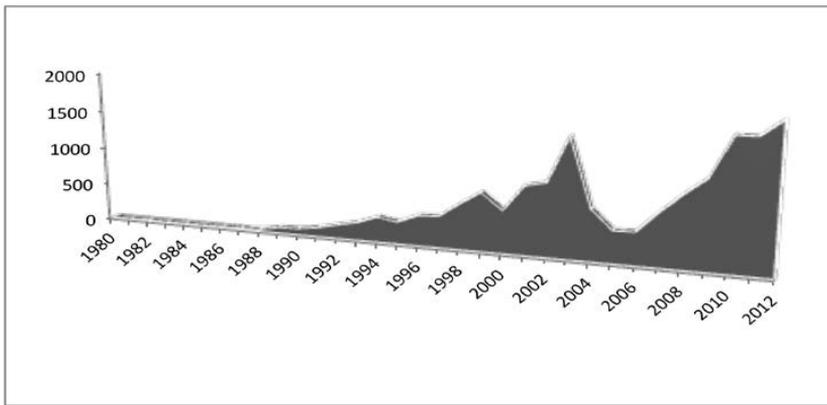
El gasto de I+D per cápita en las nanotecnologías es otro indicador que permite dimensionar los diferenciales en el esfuerzo destinado al desarrollo de nuevos conocimientos en este paradigma emergente. En 2008, Japón se coloca a la cabeza con 7.3 dólares per cápita; seguido por Corea con 6 dólares per cápita. En Estados Unidos este indicador es de 5.1 dólares per cápita; la Unión Europea reporta 4.6 y Taiwán 4.5. Finalmente, China con un gasto de 0.4 dólares per cápita, aunque su gasto en I+D con financiamiento público ascendió en este año a 430 millones de dólares (MUSdls), superior al de Corea (310 MUSdls), Taiwán (110 MMdls), y es inferior al de Japón (950 Mdls), Unión Europea (1700 Mdls) y Estados Unidos (1550 Mdls) (Roco, 2011: 38).

La actividad inventiva en las nanotecnologías fue incipiente durante la década de los ochenta, pero registró un crecimiento importante. Entre 1980 y 1989 se concedieron 193 patentes a residentes y no residentes en USPTO con una tasa de crecimiento promedio anual de 22.8%. En la década siguiente, el número de patentes aumentó notablemente al concederse 3,463, con un crecimiento promedio anual de 27.8%. De 2000 a 2010 el número de patentes obtenidas fueron más del doble del periodo anterior (8,331), pero el crecimiento fue menor (11.7% promedio anual).

⁷ Feynman (1959) "*Plenty of Room at the Bottom*"; Drexler (1981) "*Molecular Engineering: An approach to the development of General Capabilities for Molecular Manipulation*"; Drexler (1986) *Engines of Creation* y Drexler y Smalley (2003) *The Emerging Science of Nanotechnology: Remaking*, citados en Toumey, 2005.

El crecimiento sustancial de las patentes en las dos últimas décadas de innovación da cuenta de la expansión de las nanotecnologías como un cambio radical en la solución de problemas tecnológicos que son afrontados por las firmas, las instituciones y los individuos. Así, la evolución de las patentes en nanotecnologías sugiere una difusión dinámica en la última década. Se estima que entre 2000 y 2008 el mercado mundial de productos nanotecnológicos creció en promedio anual 25%, pasando de 30 mil millones de dólares a 200 mil millones de dólares, de los cuales 80 mil millones corresponde a Estados Unidos, particularmente en productos de nanoestructuras. Se estimaba que en 2015 este mercado alcanzaría 1 millón de millones de dólares, con la participación de 800 mil millones de dólares por parte de Estados Unidos (Roco, 2011).

Figura 1. Patentes concedidas a residentes y no residentes por USPTO en el área de nanotecnologías, 1980-2012.

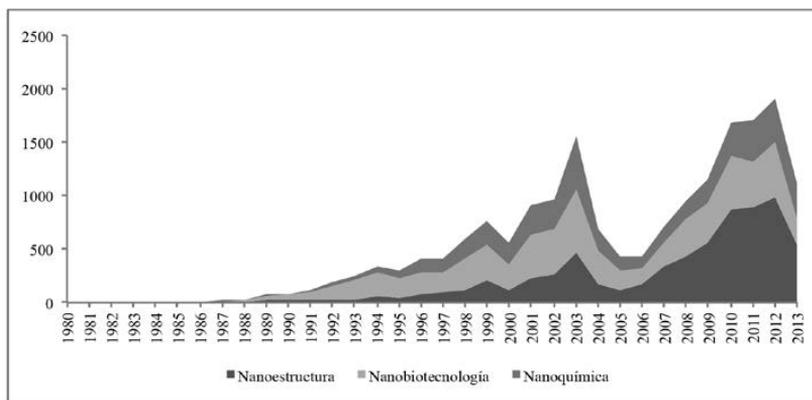


Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas CCL/977/700-863.

Índice de generalidad tecnológica: tendencia a la convergencia en las nanotecnologías. Un rasgo de la difusión de un nuevo paradigma tecnológico es la extensión a los diferentes sectores tecnológicos. Este es un aspecto central para entender cómo está ocurriendo la confluencia de diferentes campos tecnológicos y por tanto, cómo se tiende hacia la convergencia cognitiva.

En el caso de las nanotecnologías, identificamos que más de dos quintas partes del total de las patentes corresponde a nanoestructura (41.5%), un tercio a nano-biotecnología y una cuarta parte a nanoquímica. Si consideramos la clasificación de Jaffe y Trajtenberg (2002), es posible ampliar la lupa para identificar las clases tecnológicas que están involucradas. La nanoquímica tiene una mayor importancia relativa (37.2%). Las nanotecnologías también se vinculan a otros paradigmas tecnológicos como las TIC (eléctrica y electrónica, 18.3%; computación y comunicación, 1.3%) y la biotecnología (15.2%).

Figura 2. Patentes concedidas a residentes y no residentes en USPTO por clases tecnológica, 1980-2013



Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas CCL/977/700-863

El índice de generalidad tecnológica -IGT- (Trajtenberg *et al.*, 1997) es también otra

$$IGT = 1 - \sum_j^{n_1} S_{ij}^2$$

donde S_{ij}^2 expresa el porcentaje de citas que una patente i recibe de otras patentes (patentes

hacia adelante -*forward patent citation*-) perteneciente a la clase j , entre un grupo de n_1 clases de patentes.

Cuando IGT es igual o cerca a 1, significa que la patente i tiene un amplio impacto en otros sectores tecnológicos. Contrariamente, cuando IGT es cercano a 0 significa que la patente i no tiene un amplio impacto en otros sectores tecnológicos. Este indicador nos remite a la idea de la convergencia cognitiva en las nanotecnologías. De acuerdo con nuestra estimación de IGT basada en una muestra aleatoria de 376 patentes y considerando a los tres principales sectores, encontramos que la IGT no es cercana a 1, pero tiene un impacto moderado en otros sectores: biotecnología (0.4), nanoestructura (0.39) y química (0.33). Sin embargo, hay patentes cuyo IGT es cercano a 1, y cuya novedad es reivindicada en diversos campos tecnológicos. Tal es el caso de la patente 6203983 asignada primeramente en el campo de nano-química, con un IGT de 0.71, y con impacto de novedad en los campos eléctrico y electrónica, medicinas y productos médicos y computación y comunicación. En contraste, la patente 6383286 sólo está concentrada en la clase tecnológica de nanoestructura y el sector eléctrico y electrónica, con un IGT cercano 0. Los datos anteriores confirman no sólo la convergencia cognitiva de este paradigma tecnológico, sino que éste se encuentra en proceso de expansión.

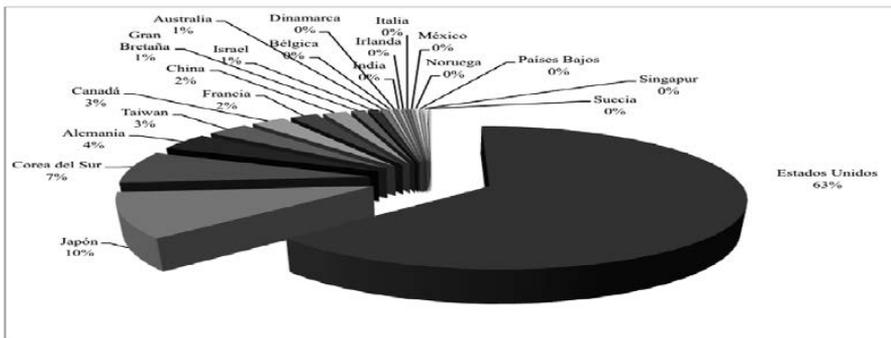
Kim, Kim y Koh (2014) analizan la convergencia tecnológica en el paradigma de las TICs. Mediante un análisis de cómo se clasifican 43,636 patentes de 1995 a 2008 conforme a la *International Patent Classification*, los autores identifican cómo éstas confluyen y se relacionan entre los diferentes dominios de conocimiento tecnológico. Este estudio de convergencia tecnológica en las TICs pretende ser útil al sector empresarial para implementar las estrategias adecuadas en el ambiente de la trayectoria del cambio tecnológico. Aunque en esta investigación

no se examina de manera detallada esta confluencia, en el modelo propuesto de convergencia condicional consideramos cómo puede influir un IGT cerca de 1; es decir, cómo puede influir el hecho de que en las patentes se involucren diferentes campos científicos y tecnológicos y, a su vez, su aplicación también involucre una gran variedad de clases tecnológicas.

La actividad inventiva, brechas y difusión en nanotecnologías entre países

Estados Unidos se identifica como el líder en la actividad inventiva de las nanotecnologías, según las patentes concedidas a residentes y no residentes por USPTO. Este país acumula 63% del total de patentes de nuestra muestra. Con una significativa distancia están Japón (10%), Corea del Sur (7%), Alemania (4%), Taiwán (3%) y China (2%), entre otros. Quizá si consideramos otras oficinas de propiedad intelectual como la Oficina Europea de Patentes (EPO) o la Oficina de Patentes de Japón, la distribución podría ser diferente, pero seguramente Estados Unidos mantendría su liderazgo.⁸

Figura 3. Distribución de patentes concedidas por USPTO a residentes y no residentes en nanotecnología por países, 1983-2012 (%)

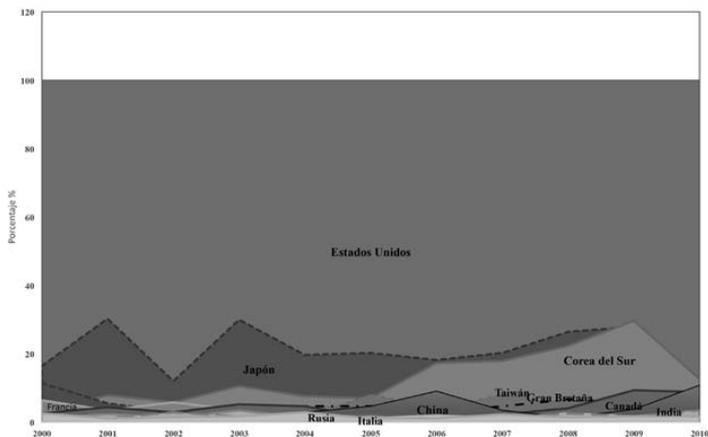


Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas de nanotecnología CCL/977/700-863 con base en una muestra aleatoria de 376 patentes.

La brecha de la actividad inventiva en las nanotecnologías entre países se aprecia mediante el índice de patentes, donde la estimación del número de cada país se realiza con base al de Estados Unidos. Los países que pueden ser considerados como los seguidores más cercanos (y aún con una enorme distancia) son Japón y Corea del Sur; el primero reporta 30% con respecto a Estados Unidos en 2001 y 2003 y 28% en 2009; el segundo con 30% en 2009. La actividad inventiva de China se deja ver como un potencial que en el largo plazo podrá desplegarse; en 2006 y 2009 tiene 9% del nivel de patentes de Estados Unidos. Varios países mantienen enormes diferenciales con respecto a Estados Unidos (véase figura 4).

⁸ Estos resultados son similares a aquellos estimados por Guzmán y Toledo (2009) entre 1980-2008: Estados Unidos con 60% de patentes concedidas en el campo de nanotecnologías; Japón, 18.6%, los países europeos 7.8% y Corea del Sur 2.8%. La única diferencia es que esta investigación toma a los países europeos individualmente.

Figura 4. Brechas de actividad inventiva en el área de nanotecnología entre países. Índice de patentes. Estados Unidos = 100.0



Fuente: Estimación propia con base en las patentes de USPTO en las clases tecnológicas de nanotecnología CCL/977/700-863 con base en una muestra aleatoria de 376 patentes.

Varios estudios han analizado los flujos de conocimiento, utilizando la citas de patentes hacia atrás (citas a patentes previas) y hacia adelante (citas recibidas por otras patentes) como variable *proxy*. Esta metodología ha sido criticada porque no todas las citas de patentes han sido realizadas por los inventores, sino por los dictaminadores de USPTO, EPO y otras (Breschi and Lissoni, 2004)⁹. No obstante, puede considerarse un indicador *proxy* de cómo el conocimiento tecnológico contenido en una patente podría ser fuente del nuevo conocimiento que se patenta o una *proxy* del valor de la patente que se cita (Hu y Jaffe, 2003). OCDE, 2007; Palmberg *et al.*, 2009; OCDE, 2013). Los estudios de cita de patentes dan un soporte empírico para entender los patrones de difusión de las nuevas tecnologías. Así, este tipo de estudio también se han orientado a identificar los patrones de fuentes de conocimiento y por tanto analizar los procesos de convergencia o divergencia de los países seguidores y sus firmas (Park y Lee, 2015).

En esta investigación, las citas hacia atrás de patentes concedidas en USPTO son consideradas como una variable *proxy* de la acumulación de conocimiento tecnológico que los equipos de investigación adquieren para generar una novedad en el campo de la nanotecnología.¹⁰ En lo que respecta a las citas hacia atrás de patentes concedidas en USPTO, encontramos que el conjunto de las 376 patentes entre 1983-2012 de la muestra registran 6,551 citas de patentes a patentes previas. En promedio se reconoce 17.4 citas de patentes por patente, lo cual sugiere que cada patente en esta área toma en cuenta una fuente amplia de conocimientos. Hay patentes que registran una enorme cantidad de citas de patentes; tal es el caso de la patente número 7655934 en el campo nanoquímico asignada a un titular de Estados Unidos en 2010 con 311 patentes citadas (*backward patent citation* –BwPCit-). En un caso opuesto están 14 patentes que no tienen citas, en el campo de biotecnología (3 patentes), química (5 patentes) y nanoestructura

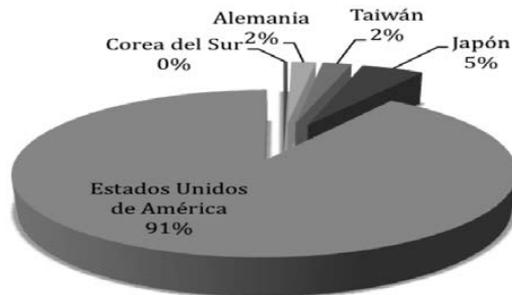
⁹ Esto ocurre especialmente en EPO más que USPTO.

¹⁰ La cita a artículos científicos también contribuye a la acumulación del conocimiento tecnológico. Sin embargo, en esta investigación este indicador se considera una variable de los vínculos entre el sector académico-científico y el sector industrial.

(6 patentes). Probablemente se trata de invenciones radicales, por lo que no hacen citas de conocimientos previos.

Tal como se ha visto, los mayores esfuerzos en innovación en nanotecnologías son los que han realizado los países industrializados y algunos de nueva industrialización y emergentes de Asia. Además de los diferenciales en el nivel de patentes entre países industrializados, la brecha se amplía también cuando se contrastan los datos de citas de patentes. Estados Unidos concentra cuatros quintas partes de las citas hacia atrás y registra 21.8 citas previas por patente, mayor que el promedio en conjunto. El país seguidor, Japón, cuenta con 10% del total de patentes hacia atrás y 7.3 patentes citadas por patente en promedio. Otros países situados a una gran distancia de Estados Unidos tienen una participación marginal en el total de las patentes hacia atrás. El promedio de patentes citadas por patente es de 11 en el caso de Taiwán, 7.4 para Alemania y 0.6 para Corea del Sur.

Figura 5. Distribución de citas de patentes hacia atrás realizadas por patentes de países concedidas por USPTO en nanotecnología, 1980-2012 (%)

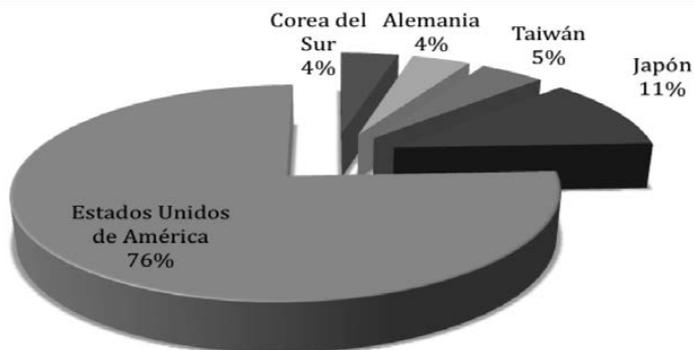


Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas de nanotecnología CCL/977/700-863 con base en una muestra aleatoria de 376 patentes.

Las citas recibidas por las patentes (patentes hacia adelante, *forward patent citation – FwPatCit*) se consideran como un indicador de la importancia tecnológica así como del futuro valor comercial de las innovaciones (OCDE, 2013; Trajtenberg, 1990; Hall *et al.*, 2005; Harhoff *et al.*, 2002). Las patentes hacia adelante se utilizan en los estudios empíricos de difusión de conocimiento tecnológico (Gay, *et al.*, 2004; Gay y Le Bas, 2005; Duguet y MacGarvie, 2005). En esta investigación el indicador nos da una idea de cómo son difundidas las innovaciones en nanotecnologías.

Se estimó el promedio de citas de patentes hacia adelante con base en las 376 patentes de USPTO y se encontraron 4,628 citas *FwPatCit* con un promedio de 12.3 citas recibidas por patente. Nuevamente, este indicador se concentra en países industrializados, principalmente en Estados Unidos con dos tercios y Japón con 10%. En un menor grado, Taiwán, Alemania y Corea tienen una similar participación en el total de las citas recibidas *FwPCit* (alrededor de 4%).

Figura 6. Distribución de citas de patente recibidas por patentes de países concedidas por USPTO en nanotecnología, 1980-2012 (%)

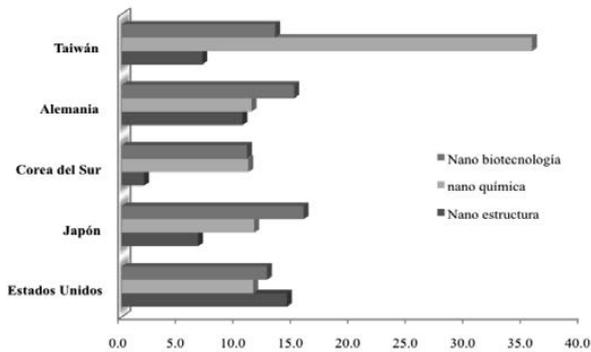


Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas de nanotecnología CCL/977/700-863 con base en una muestra aleatoria de 376 patentes.

Los países industrializados con más patentes en nanotecnología muestran diferentes especializaciones y también diferentes patrones de difusión. A mayor especialización, mayor es la difusión de esos campos tecnológicos. En lo que respecta a Estados Unidos, 43.6% de las *FwPatCit* recibidas por las patentes estadounidenses pertenecen al campo de nanoestructura (1350 *FwPatCit* de 94 patentes en nanoestructuras), el cual es el principal sector en nano de este país y en el total de la muestra representa 29.1%. En el caso de Japón, 72% de *FwPatCit* estuvieron localizadas en las patentes de nano-biotecnología y representaron 8.1% del total de *FwPatCit* de las patentes. Las 332 *FwPatCit* en biotecnología obtenidas por las patentes japonesas representan 15.8 citas hacia adelante por patente, promedio mayor que en nanoestructura (6.6) y en nanoquímica (11.5). De ahí la importancia de que la difusión de Japón se ubique en nanobiotecnología. Por su lado, Alemania tiene la difusión sobre todo en los sectores de química (46%) y nanoestructura (36.6%); es decir, 73 y 63 de las 172 *FwPCit* obtenidas por Alemania. Sin embargo, el promedio de *FwPatCit* por patente es mayor en nano-biotecnología (15) que en nanoquímica (11.2) y nanoestructura (10.5). Por tanto, se identifican tres sectores principales.

Con respecto a los países de Asia del Este, sobresalen Corea del Sur y Taiwán. Cerca de tres quintas partes (58%) de *FwPatCit* recibidas por patentes coreanas se concentran en nano-biotecnología (98 *FwPatcit* del total de las 169 recibidas) y representan 4.1 del total de las patentes estudiadas. El promedio de *FwPatCit* recibidas por patente es 10.8, y se localiza principalmente en nanoquímica, lo cual sugiere la importancia de sus invenciones y cómo es difundido el nuevo conocimiento. En esta clase tecnológica, Taiwán muestra mayor fortaleza. En efecto, cerca de dos tercios (56.6%) del total de las *FwPatCit* recibidas por este país se concentran en el sector nanoquímico. El promedio de citas recibidas por patente en este sector es 35.6.

Figura 7. Principales sectores tecnológicos que en promedio reciben mayor número de citas en patentes de países concedidas por USPTO, 1983-2013. (% del total por país)



Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas de nanotecnología CCL/977/700-863 con base en una muestra aleatoria de 376 patentes.

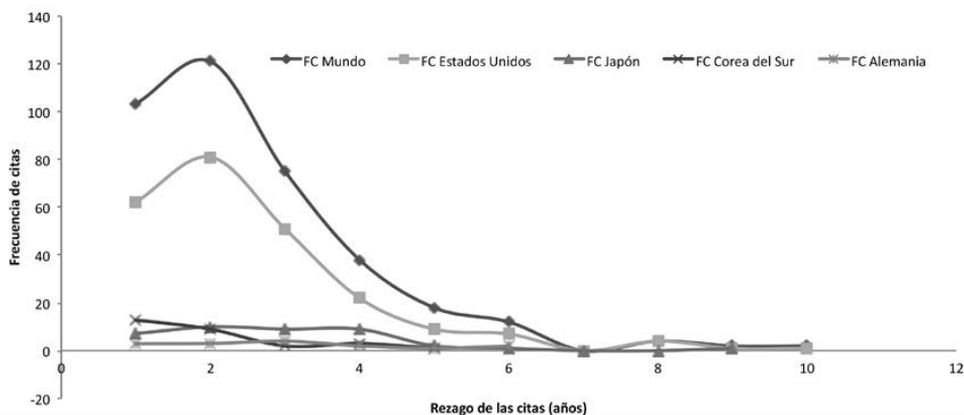
Rezago temporal de la difusión entre países

El tiempo que lleva a una patente citar a otra patente previa por primera vez es considerado un indicador *proxy* del rezago temporal de la *BwPatCit* (Gay y Le Bas, 2005). Con el antecedente de los estudios de rezago temporal en las citas de patentes, tomando el año de solicitud de la patente citada y la patente que cita (Hu y Jaffe, 2003)¹¹, estimamos el rezago temporal con que los países citan las patentes de nanotecnología. Esta medición ilustra la velocidad con la que los nuevos conocimientos de nanotecnología son difundidos, pero además nos da idea de la capacidad de absorción que tienen los países para aprender de los nuevos conocimientos e incorporarlos en sus novedades endógenas.

Conforme a nuestras estimaciones, el rezago temporal de *BwPatCit* en el conjunto de patentes de nanotecnologías estudiadas es 1.53 años. Sin embargo, hay diferencias entre países. El promedio de rezago temporal de *BwPatCit* en Estados Unidos es de 1.5 años, muy cercano al promedio general, pero este rezago es menor en nanoestructuras (1.38 años). En el caso de Japón el rezago temporal de *BwPatCit* es de 1.94 años y el menor tiempo se identifica en nanoestructuras (1.6 años). Alemania tiene un promedio de 2 años, pero en nanoestructura y en biotecnología el promedio es de 1.5, similar al que se registra en el promedio general del conjunto de países. En contraste, la velocidad de difusión de los nuevos conocimientos para generar innovación es mayor en los países asiáticos. Corea del Sur registra un promedio de rezago en *BwPCit* de 0.9 años y Taiwán de 0.6 años. En el caso de Corea es aún menor en biotecnología (0.6 años) y en Taiwán más reducido en nanoestructura (0.5 años).

¹¹ Una patente concedida se reconoce, según los expertos, no sólo por ser una invención, sino además por su potencial de ser explotada a escala industrial.

Figura 8. Rezago temporal en que los países citan patentes previas para generar nuevas patentes.



Fuente: Base de patentes de USPTO en las clases tecnológicas de nanotecnología CCL/977/700-863 con base en una muestra aleatoria de 376 patentes.

Convergencia y alcance tecnológico y de innovación en la nanotecnología

Tras identificar las brechas tecnológicas y de innovación entre países en la nanotecnología, con base en el análisis de las patentes concedidas por USPTO en las clases respectivas a nanotecnología, esta sección propone un modelo de convergencia tecnológica y de innovación que busca probar si es posible que los países converjan en la innovación en el paradigma de la nanotecnología y qué factores condicionarían tal convergencia con la estimación de un modelo econométrico.

El modelo que se estimó analiza la relación que existe entre una variable dependiente y su tasa de crecimiento. El coeficiente “ β ” de la variable independiente refleja las características de la convergencia. Estos modelos se les conoce con el nombre de modelos tipo “ β ” convergencia. En otras palabras, se estimó un modelo “ β -convergencia condicional” en el que la variable dependiente es tasa de crecimiento promedio anual del número de patentes solicitadas en nanotecnología del país i como una aproximación al crecimiento de la actividad inventiva en nanotecnologías y como variable independiente el logaritmo natural del número de patentes como una aproximación a la tasa de crecimiento de la actividad inventiva. Debido a que se incluyeron varias variables de control, el modelo es de tipo condicional ya que el comportamiento de estas variables incide en el coeficiente de la variable asociada al crecimiento de la actividad inventiva.

Varias consideraciones fueron necesarias para incluir a las variables de control asociadas con las capacidades tecnológicas de los países. Estudios que analizan la convergencia señalan que las distintas economías no podrán alcanzar los mismos niveles del PIB per cápita en el largo plazo, sin contar previamente con capacidades tecnológicas y sociales (Barro y Sala-i-Martin, 1995; Mankiw, Romer y Weil, 1992). A su vez, la hipótesis de alcance tecnológico (*technological catch up*), en la cual se establece que los países pobres pueden cerrar la brecha con

los países más avanzados al aprovechar las derramas del conocimiento tecnológico generado en los países ricos. Sin embargo, esta hipótesis reconoce que la difusión internacional de tecnología no ocurre de forma instantánea, sino que su proceso de difusión se desenvuelve con diferentes patrones entre las diferentes economías, considerando las capacidades tecnológicas acumuladas diferenciadas (Fagerberg *et al.*, 2012) o de absorción (Rogers, 2003).

El problema de la convergencia en la nanotecnología ha sido abordado por Gholizadeh, Bonyadi y Moni (2015) y el caso de la convergencia en las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) por Kim, Kim y Koh (2014). Los dos estudios examinan el fenómeno de la convergencia de diferente manera. El primero es un estudio orientado a estimar las brechas tecnológicas entre los países del Medio Oriente, otros países de la región y Estados Unidos, para después proponer un modelo de convergencia y alcance de los países seguidores al país líder. Para la estimación de la brechas se basa en variables de inversión, capital humano, tecnología (patentes solicitadas en nanotecnología), industriales y científicas (artículos científicos asociados a nanotecnología). En cambio, el estudio de convergencia en las TICs, busca identificar el grado de fusiones y relaciones entre los diferentes dominios tecnológicos, mediante el análisis de las patentes, utilizando la Clasificación Internacional de Patentes (Kim, et al, 2014). Mientras el primer estudio se inserta más en la preocupación de la convergencia tecnológica y de innovación entre países, en el segundo, la convergencia tecnológica y de innovación se analiza desde la perspectiva de cómo un paradigma se extiende a diferentes campos de conocimiento tecnológico y por tanto, como las firmas pueden disponer de mayores posibilidades de aplicación.

Valorando las contribuciones de la ciencia económica relativas al análisis de la convergencia económica, en este estudio se retoman algunas propuestas y se complementan con estudios más específicos sobre innovación tecnológica (Rogers, 2003).

Fuente de datos

Para la especificación del modelo β -convergencia, se consideró la información proporcionada por las patentes en nanotecnología de inventores residentes y no residentes en la *Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos* (USPTO)¹² del período 2000-2010. Este estudio se basa en una muestra de 376 patentes proveniente de una población de 18,467 patentes concedidas por la USPTO de 1983 a 2013 en la clase 977, en la cual se clasifican las patentes del campo tecnológico de las nanotecnologías.¹³

Asimismo se incluyeron otros indicadores y fuentes de información de los años 2000 y 2010: el capital humano por país (*KHi*), el gasto en investigación y desarrollo por país como porcentaje del PIB (*GI&Di*), obtenidos de los Indicadores del Banco Mundial, el índice de

¹² Se buscó las patentes de residents y no residents en la clase 977 de USPTO. Guzmán y Toledo, 2009.

¹³ El tamaño de la muestra fue estimado con base en Anderson, et al. (2008) como: $n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{i^2 (N-1) + Z_{\alpha}^2 p q}$, donde:

N es el tamaño de la población considerada (18,414 patentes); Z es el valor relacionado a la distribución de Gauss,

$Z_{\alpha=0.05} = 1.9$; p es la prevalencia esperada del parámetro a evaluar. Si este es desconocido, se asume: $p = 0.5$; q se toma como: $q=1-p$. En este caso es 5%, por tanto, $i=0.05$. Si este es desconocido se asume: $p = 0.5$; q se toma como: $q=1-p$; i y significa el error esperado. En este caso es 5%, por tanto, $i=0.05$.

desarrollo humano por país (*IDHi*), obtenido del Plan Nacional de Desarrollo de las Naciones Unidas (*PNUD*), el índice de competitividad global por país (*CGIi*), el grado de tecnología por país (*TECHi*), el grado de eficiencia de las instituciones públicas por país (*Pii*) y el grado de estabilidad macroeconómica por país (*MEi*) estimados en *The Global Competitiveness Report* del Banco Mundial.

Se incluyeron 17 países que registran patentes de nanotecnología: Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Alemania, Taiwán, Francia, Gran Bretaña, Canadá, China, Israel, España, Holanda, Irlanda, Italia, Suecia, India y Rusia. De éstos, ocho son industrializados, tres de industrialización reciente y seis emergentes. Se consideraron las variables incluidas en la especificación del modelo por cada uno de estos países, es decir, los datos son de tipo corte transversal.

Especificación del modelo de convergencia condicional

La hipótesis central del modelo es la siguiente: se prevé *la convergencia tecnológica y de innovación en las nanotecnologías entre países hacia el país líder en el largo plazo, condicionada a la existencia de capacidades tecnológicas y de innovación en las nanotecnologías, capacidades tecnológicas y de absorción tecnológica y capacidades sociales* (Rogers, 2003 y Abramovitz, 1986). Es decir, si el coeficiente asociado a la tasa de crecimiento de la actividad inventiva (β -convergencia) es < 0 , entonces los países rezagados tenderán a alcanzar a los más avanzados y, por lo tanto, habrá convergencia; por el contrario, si β -convergencia > 0 entonces no habrá convergencia.

Con la finalidad de verificar tal hipótesis, se especifica formalmente en la siguiente ecuación:

$$PatNano_{i,2000-2010} = \beta \ln PatNano_{2000,i} + \alpha_1 X_{1,i} + \alpha_2 X_{2,i} + \alpha_3 X_{3,i} + \varepsilon_i$$

donde:

$PatNano_{i,2000-2010}$ = Crecimiento del número de patentes solicitadas en nanotecnología del país i en el periodo 2000-2010¹⁴. La tasa de crecimiento promedio anual del número de patentes solicitadas en nanotecnología del país i es una variable *proxy* de tasa de crecimiento promedio anual del número de patentes solicitadas en nanotecnología del país i . la dinámica de crecimiento de la actividad inventiva en nanotecnologías.

$\ln PatNano_{i,2000}$ = logaritmo natural del número de patentes del año inicial (2000) solicitadas en nanotecnología del país i ;

β = coeficiente estimado de estudio; es decir, el parámetro que proporciona información acerca de la convergencia en la actividad inventiva en nanotecnología entre países.

¹⁴ El periodo de estudio se definió con base en la información proporcionada por una muestra aleatoria de 2,000 patentes obtenida con base en una población de estudio extraída de la *Oficina de Marcas y Patentes de los Estados Unidos* (United States Patent and Trademark Office –USPTO–) en el periodo 1974-2013. Se definió el periodo 2000-2010 con base en el criterio de incluir el mayor número de países posible. Así, se logró incluir a 17 países que realizan actividad inventiva en nanotecnologías en la base de datos para estimar el modelo de convergencia propuesto. Con el fin de hacer homogénea la información, no se consideraron otros países que recientemente han comenzado a patentar en nanotecnologías. Esto representa un problema estadístico y una restricción para realizar las estimaciones del modelo.

$X_{1,i}$, $X_{2,i}$ y $X_{3,i}$ = matrices que contienen variables de control asociadas al fenómeno de la actividad inventiva en tres ámbitos: capacidades tecnológicas y de innovación en el sector estudiado, capacidades de absorción tecnológica a nivel nacional y capacidades sociales, respectivamente. A continuación se desglosan las variables contenidas en cada una de estas matrices.

$X_{1,i}$ representa las capacidades tecnológicas y de innovación en nanotecnología del país i , incluye las siguientes variables:

$AtechNano_{i2000-2010}$ es la acumulación de conocimiento tecnológico en este sector del país i entre los años 2000 y 2010. Se considera variable *proxy* a la TCPA del número de citas hacia atrás de las patentes solicitadas en nanotecnología del país i (2000-2010).

$ScTecLinkNano_{2000-2010}$ es la acumulación de los vínculos entre la actividad científica y la actividad inventiva en este sector tecnológico del país i durante 2000 y 2010. Se considera variable *proxy* a la TCPA del número de citas de artículos científicos que realizan las patentes solicitadas en nanotecnología del país i (2000-2010) (Guzmán et al., 2016).

$SizeRTNano_{i2000-2010}$ es la acumulación de las capacidades inventivas de los investigadores en este sector tecnológico del país i de los años 2000 a 2010. La variable *proxy* es la TCPA del tamaño de equipos de inventores en nanotecnología del país i (2000-2010).

$CINano_{i2000-2010}$ es la acumulación de las novedades generadas en este sector tecnológico en el país i durante el periodo 2000-2010. La variable *proxy* es la TCPA del número de reivindicaciones (*claims*) de las patentes solicitadas en nanotecnologías del país i (2000-2010).

$X_{2,i}$ es otro grupo de variables que representa las capacidades de absorción tecnológica, a nivel nacional, y se compone de las siguientes variables:

$R\&D/GDPi_{2000-2010}$ es la acumulación de la capacidad tecnológica del país i . La variable *proxy* es la TCPA del gasto en I+D/ PIB del país i del periodo 2000-2010.

$Hki_{2000-2010}$ es la acumulación del capital humano del país i de 2000 a 2010. La variable *proxy* es la TCPA del número de investigadores en I+D /millón de habitantes del país i (2000-2010).

$ProdCompi_{2000-2010}$ es la acumulación de la capacidad productiva y competitiva del país i . La variable *proxy* es la TCPA del índice de competitividad global del país i (2000-2010).

$TechHeighti_{2000-2010}$ es la acumulación del nivel relativo de tecnología del país i . La variable *proxy* es la TCPA del índice de tecnología del país i de 2000 a 2010.

$TechAbsCapFi_{2000-2010}$ es la acumulación de la capacidad de absorción tecnológica de las firmas del país i (2000-2010).

$X_{3,i}$ es un grupo de variables que representa las capacidades sociales del país i . Se compone de las siguientes variables:

$DHI_{i2000-2010}$ es crecimiento del índice de desarrollo humano del país i (2000-2010). Es un indicador sintético de los logros medios obtenidos en las dimensiones fundamentales del desarrollo humano, a saber: tener una vida larga y saludable, adquirir conocimientos y disfrutar de un nivel de vida digno.

$IPe_i^{2000-2010}$ es el crecimiento del grado de eficiencia de las instituciones públicas del país i entre 2000 y 2010.

$MacStrength_i^{2000-2010}$ es el crecimiento del grado de estabilidad macroeconómica del país i durante 2000-2010.

$InstWeak_i^{2005-2010}$ es el crecimiento de la debilidad institucional. La variable *proxy* es la tasa de crecimiento del grado de corrupción en el país i durante el periodo 2000-2010.

α_1 , α_2 y α_3 son los coeficientes estimados.

ϵ_i es el factor de error.

Se espera que:

Si $\beta < 0$, los países seguidores tenderán a alcanzar a los líderes. Es decir, hay convergencia.

Si $\beta = 0$, no hay convergencia ya que, en este caso, la tasa de crecimiento de la actividad inventiva de los países seguidores es la misma que la de los líderes, por lo que la diferencia en la actividad inventiva inicial se mantendría. La brecha se conserva.

Si $\beta > 0$, hay divergencia, ya que los países líderes mantendrían tasas de crecimiento elevadas de la actividad inventiva, asociadas positivamente con los niveles altos de su actividad inventiva inicial. Por el contrario, los países seguidores mantendrían tasas de crecimiento bajas de la actividad inventiva, asociadas positivamente con sus bajos niveles de actividad inventiva inicial. A través del tiempo, la brecha se haría más grande.

Sin embargo, de acuerdo con diversos trabajos teóricos y empíricos sobre la convergencia tecnológica (Abramovitz, 1986; Rogers, 2003; Manca, 2009 y Fagerberg *et al.*, 2012), se reconoce que este proceso es un fenómeno complejo: no sólo depende de la relación entre los cambios porcentuales de la actividad inventiva inicial y las tasas de crecimiento promedio anual de la actividad inventiva, sino, además, está condicionado por variables del entorno que influyen favorablemente no sólo en el ritmo de crecimiento de la actividad inventiva sino también en el proceso de convergencia estudiado a través del parámetro β . Por lo tanto, estas variables condicionan el proceso de convergencia.

Estadística descriptiva de las variables del modelo

En este apartado se analiza el comportamiento de cada variable en el conjunto de los países del estudio con base en la media, la varianza y la desviación estándar; el propósito es analizar la distribución de los datos y hacer un estudio del comportamiento estadístico de las variables.

Una variable que no presenta problemas de dispersión es el logaritmo natural del número de patentes del año inicial (2000) asignadas en nanotecnología del país i . El valor máximo es de 4.4, donde se ubica el país líder en la actividad inventiva en nanotecnología, Estados Unidos, seguido de países que se ubican por encima del promedio, tales como Japón y Alemania. Estos países, a su vez, guardan una brecha respecto de los países que se ubican en el valor promedio (1), tales como Israel y Francia. Por debajo de la media se ubican Corea del Sur, Gran Bretaña, Canadá, China, Irlanda, Italia, India y Rusia, mientras que en el valor mínimo (0) se ubican España, Holanda, Suecia y Taiwán. Aunque la distancia entre Estados Unidos y los demás países es grande, en conjunto, los datos no están muy dispersos.

En cuanto a la acumulación de las reivindicaciones de novedad en las patentes en nanotecnología en el país i , $CINanoi^{2000-2010}$, el país líder es Suecia con un valor máximo de 10.2, muy por encima del promedio (-2.7) donde se ubica Holanda, mientras que en el mínimo está Taiwán (-10.8). En este rubro Estados Unidos tiene un valor de -4.3. El comportamiento

de los datos sugiere que, aunque Estados Unidos mantiene el mayor ritmo de crecimiento en cuanto a la actividad inventiva en nanotecnología, en lo que concierne a las novedades generadas en este sector mantiene un ritmo por debajo del promedio.

Respecto a la acumulación de la capacidad tecnológica en el país *i*, *R&D/GDPi2000-2010*, el país que alcanzó el mayor crecimiento en este periodo fue China (6.6), muy por encima del valor promedio (1.7), mientras que en el mínimo se ubica Rusia (-0.7); Estados Unidos se ubica con 1.02, es decir, por debajo del promedio. Nuevamente, los datos revelan que Estados Unidos no es país líder en cuanto al ritmo de crecimiento en el gasto en I+D como porcentaje del PIB, variable *proxy* de la capacidad tecnológica del país.

Con relación a la acumulación del nivel relativo de tecnología en el país *i*, *TechHeighti2000-2010*, el país que se ubica en el máximo es Japón (0.5), en el promedio (-1.6) están Corea del Sur, Taiwán y Holanda, y en el valor mínimo (-4.3) se ubican Italia y España; Estados Unidos se ubica por debajo del promedio con un valor de -1.1.

En cuanto al crecimiento del grado de eficiencia de las instituciones públicas en el país *i*, *IPEi2000-2010*, el país líder es nuevamente China (0.8), en el valor mínimo se ubica Italia (-4.2) y en el valor promedio (-1.4) se sitúa Rusia, mientras que Estados Unidos se ubica por debajo del promedio con un valor de -2.4. Esto sugiere que, mientras que China mejora en la eficiencia de sus instituciones públicas a un ritmo creciente, Estados Unidos lo hace a un ritmo decreciente.

La acumulación del capital humano en el país *i*, *Hki2000-2010*, donde el país líder es Corea del Sur con un máximo de 8.7, en el valor promedio (2.9) se ubica Francia y en el mínimo (-1.1) se encuentra Rusia, mientras que Estados Unidos se sitúa por debajo del promedio con 1.07.

La variable que tiende a una mayor dispersión es la acumulación de conocimiento tecnológico en nanotecnología, *AtechNanoi2000-2010*, con valor máximo de 26.5 donde se ubica Holanda, en el mínimo (-100) está Rusia y en el valor promedio (-2.7) se encuentra India, Estados Unidos se sitúa por arriba del promedio (12.8) pero muy por debajo del ritmo de crecimiento de Holanda.

Esta breve presentación del comportamiento estadístico de estas variables revela algunas fortalezas y debilidades de los países. Si bien Estados Unidos es el país líder en cuanto al ritmo de crecimiento en la actividad inventiva en nanotecnología, desde esta perspectiva dinámica, otros países como China revelan fortalezas en otros rubros tales como el gasto en I+D o en la mejora de la eficiencia de las instituciones públicas, pero también confirma las debilidades que exhiben países como Rusia.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables del modelo

Variables	Media	Desviación est	Mínimo	Máximo	Correlaciona do a PatNanoi	Variables menos correlacionad as InPatNano0i	Variables independientes más correlacionadas
<i>PatNanoi</i> ₂₀₀₀₋₂₀	2.952183	12.33009	-16.3749	24.13658	1		
<i>InPatNano0i</i>	1.034852	1.124854	0	4.369448	-0.5313		
<i>AtechNano</i> _{i2000-2010}	-2.732757	28.15804	-100	26.48431	0.2885	0.0654	AtechNanoi2000-2010- (TechAbsCapFiri2000-2010i, InstWeaki2005-2010i, Hki2000-2010)
<i>ScTecLinkNano</i>	-0.3683211	19.27962	-28.31288	59.41741	0.326	-0.0729	ScTecLinkNano2000-2010- TechAbsCapFi2000-2010
<i>SizeRTNanoi</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	-0.8855955	7.018558	-11.49119	10.21627	-0.0156	0.2155	
<i>CINanoi</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	-2.695339	5.712577	-10.81618	10.1927	0.3921		
<i>R&D/GDPi</i> ₂₀₀₀	1.740858	2.276702	-0.7444506	6.566485	0.2624	-0.1882	
<i>Hki</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	2.8799	2.380275	-1.128547	8.657481	0.3456		Hki2000-2010 - AtechNanoi2000-2010
<i>ProdCompi</i> ₂₀₀₀	-0.3223454	0.8452005	-1.450085	1.28345	-0.1352	0.0863	
<i>TechHeighti</i> ₂₀₀₀	-1.57779	1.340337	-4.278659	0.4748854	-0.2862		
<i>TechAbsCapFi</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	1.178936	3.760121	-6.251515	9.928233	-0.2804		TechAbsCapFi2000-2010 - InstWeaki2005-2010
<i>DHHi</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	-0.0455707	0.3218544	-0.6505249	0.7252795	-0.0826	0.0013	
<i>IPEi</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	-1.382026	1.220617	-4.176039	0.7622488	0.2073		
<i>MacStrengthi</i> ₂₀₀₀₋₂₀₁₀	0.4524907	1.554512	-2.095046	2.970453	0.0563		
<i>InstWeaki</i> ₂₀₀₅₋₂₀₁₀	-0.9656611	1.39441	-4.599892	1.455526	-0.0034		

Fuente: elaboración propia con base en USPTO, 1974-2013, indicadores del Banco Mundial, 2000-2010, Plan para el Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD), 2000-2010 y *The Global Competitiveness Report*, del Banco Mundial, 2001, 2005 y 2010.

Estimación del modelo

Con la intención de especificar el modelo por estimar, se utilizó la propuesta de Rogers (2003). El autor para estimar el parámetro β en un modelo de convergencia sobre crecimiento económico entre países, estimó un conjunto de regresiones en las que, mediante prueba y error, estimó la variable del parámetro β más otra variable independiente en cada una de las regresiones con el propósito de observar el efecto condicionado sobre el valor de β . Al usar este procedimiento, las estimaciones mejoraron notablemente.

En la primera regresión se estimó la robustez del modelo donde la variable dependiente es el crecimiento del número de patentes asignadas en nanotecnología del país i , $PatNanoi$ ₂₀₀₀₋₂₀₁₀ en función del logaritmo natural del número de patentes del año inicial (2000) asignadas en nanotecnología del país i , $InPatNano2000,i$. El valor del parámetro β fue de -5.72 y

estadísticamente significativo (p -valeu de 0.032). Siguiendo el procedimiento de Rogers, se calcularon varias regresiones en las que se fueron incluyendo una por una las variables independientes propuestas, con el propósito de observar el efecto condicionado sobre el valor de β , es decir, sobre el parámetro de convergencia. Los resultados muestran que variables tales como la acumulación la acumulación de conocimiento tecnológico en nanotecnología del país i , $AtechNano_{i2000-2010}$; el crecimiento del índice de desarrollo humano del país i , $DHI_{i2000-2010}$, la acumulación de las capacidades inventivas de los investigadores en este sector tecnológico del país i de los años 2000 a 2010, $SizeRTNano_{i2000-2010}$, el crecimiento del grado de estabilidad macroeconómica del país i , $MacStrength_{i2000-2010}$ y el crecimiento del índice de corrupción en el país i , $InstWeak_{i2005-2010}$, muestran un efecto condicionado favorable en el valor de β (ver Tabla 2). Hay otro grupo de variables, tales como la acumulación de los vínculos entre la actividad científica y la actividad inventiva en este sector tecnológico del país i durante 2000 y 2010, $ScTecLinkNano_{i2000-2010}$, el crecimiento del índice de competitividad global del país i , $ProdCompi_{i2000-2010}$, y la acumulación de la capacidad de absorción tecnológica de las firmas del país i , $TechAbsCapFi_{i2000-2010}$, que en combinación con $lnPatNano2000_{i2000-2010}$, se obtuvo un valor del parámetro β estadísticamente significativo, pero menor; lo que sugiere que estas variables no condicionan favorablemente a la convergencia. Por último, se ubica otro grupo de variables tales como la acumulación de las novedades generadas en este sector tecnológico en el país i durante el periodo 2000-2010, $CINano_{i2000-2010}$ la acumulación de la capacidad tecnológica del país i , $R\&D/GDP_{i2000-2010}$, la acumulación del nivel relativo de tecnología del país i , $TechHeight_{i2000-2010}$, el crecimiento del grado de eficiencia de las instituciones públicas del país i de 2000 a 2010, $IPE_{i2000-2010}$, y la acumulación del capital humano del país i de 2000 a 2010, $Hki_{i2000-2010}$, que no inciden en la variable dependiente ($PatNano_{i2000-2010}$) y, por ende, no condicionan favorablemente al proceso de convergencia (ver Tabla 2).

Tabla 2. Regresiones (método de Rogers). Valores de β

Variables/Regresiones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$lnPatNano_{2000,i}$	-5.7220 [0.032]	-5.2567 [0.067]	-5.4264 [0.07]	-5.1491 [0.092]	-6.1144 [0.029]	-5.4131 [0.042]	-5.7584 [0.06]	-6.1098 [0.06]	-5.497716 [0.069]	-4.642984 [0.135]	-5.580504 [0.044]	-5.702473 [0.044]	-5.731043 [0.067]	-5.751022 [0.051]
$AtechNano_{i2000-2010}$		0.4759 [0.3]												
$ScTecLinkNano_{i2000-2010}$			1.1730 [0.238]											
$SizeRTNano_{i2000-2010}$				-1.4342 [0.509]										
$CINano_{i2000-2010}$					0.1638 [0.012]									
$R\&D/GDP_{i2000-2010}$						0.1556 [0.2]								
$Hki_{i2000-2010}$							-3.2080 [0.743]							
$ProdCompi_{i2000-2010}$								0.2194 [0.56]						
$TechHeight_{i2000-2010}$									0.8555458 [0.75]					
$TechAbsCapFi_{i2000-2010}$										1.15817 [0.328]				
$DHI_{i2000-2010}$											-3.04961 [0.225]			
$IPE_{i2000-2010}$												-0.8815083 [0.16]		
$MacStrength_{i2000-2010}$													-0.0202632 [0.993]	
$InstWeak_{i2005-2010}$														-0.2862377 [0.889]

Fuente: elaboración propia con base en estimaciones del modelo.

Con base en la información obtenida usando el procedimiento de Rogers y considerando el análisis previo de la estadística descriptiva de las variables del modelo, se realizaron intentos por estimar un modelo que considere simultáneamente a un conjunto de variables. Finalmente, se llegó a la siguiente especificación particular:

$$\begin{aligned}
 PatNano_{i,2000-2010} &= \beta \ln PatNano_{2000,i} + \alpha_1 AtechNano_{i,2000-2010} \\
 &+ \alpha_2 ScTecLinkNano_{i,2000-2010} + \alpha_3 SizeRTNano_{i,2000-2010} \\
 &+ \alpha_4 InstWeak_{i,2005-2010} + \varepsilon_i
 \end{aligned}$$

Los resultados de la estimación son satisfactorios. Las variables independientes explican el 50% de la varianza de la actividad inventiva ($R^2=0.5$). Se confirmó que los estimadores son homoscedásticos (*p-value* de Ho, 0.39), la ausencia de multicolinealidad (ver anexo), la forma funcional de los errores es la de una normal (*p-value*-0.45) y la correcta especificación del modelo (Reset, *p-value*, 0.17). El valor estimado de β es de -6.3, estadísticamente significativo, y tal como se esperaba menor que cero. Sólo una de las variables independientes tiene incidencia directa sobre la tasa de crecimiento promedio anual de la actividad inventiva en nanotecnología: la variable acumulación de conocimiento tecnológico en este sector del país *i* entre los años 2000 y 2010, *AtechNanoi, 2000-2010*, con un valor del parámetro estimado de 0.18, es decir, un valor positivo, lo que sugiere que su incidencia sobre la variable dependiente es positiva, tal como se esperaba en la hipótesis correspondiente a esta variable (ver tabla 3).

Tabla 3. Regresión. Coeficientes estimados del modelo de convergencia

Variable dependiente PatNanoi2000-2010		
Variab <i>les</i> independientes	Coefficiente	p-value
<i>lnPatnano0i</i>	-6.31	0.038
AtechNano _{i,2000-2010}	0.18	0.009
ScTecLinkNano _{i,2000-2010}	0.15	0.25
SizeRTNano _{i,2000-2010}	0.17	0.63
InstWeak _{i,2005-2010}	-1.57	0.276
Robutness, r		
17 observaciones		
R-square: 0.4954		

Fuente: elaboración propia, con base en las estimaciones del modelo

Interpretación de resultados

Con la intención de interpretar los resultados se calcularon las elasticidades.¹⁵ La elasticidad asociada con $\ln PatNano_{i2000-2010}$ es de -2.14. Este valor sugiere que, si aumenta en 1% la productividad en la actividad inventiva en nanotecnología del conjunto de países estudiado, la tasa de crecimiento de las patentes solicitadas en el periodo 2000-2010 cae en 2.14 %

Con respecto al acervo de conocimiento tecnológico acumulado en nanotecnología de los países de estudio en el periodo 2000-2010, $AtechNano_{i2000-2010}$, al incrementarse ésta en 1%, el crecimiento de la actividad inventiva en este campo tecnológico, aumenta en 0.17% en el mismo periodo (ver tabla 3). Este resultado nos remite a Romer (1990) quien sugiere que la tasa a la que descubren los investigadores nuevas ideas dependerá de ideas previas. En tal sentido, la productividad de los investigadores en la creación de nuevas ideas se beneficiará del conocimiento tecnológico previo. El ritmo del crecimiento de esa productividad será un factor que estará condicionando la convergencia tecnológica y de innovación entre países en el nuevo paradigma tecnológico.

De esta forma, se puede afirmar que si un país seguidor en nanotecnología tiene como propósito aprovechar las ventanas de oportunidad abiertas por la difusión de este nuevo paradigma tecnológico, debe incrementar su acervo acumulado de conocimiento tecnológico en este sector, es decir, poner atención al aprendizaje y experiencia acumulada en la actividad inventiva en nanotecnología. A su vez, esto puede ser reforzado por políticas que incentiven la actividad inventiva en el sector.

Conclusiones

Las nanotecnologías son hoy un paradigma emergente, caracterizado por una convergencia cognitiva y tecnológica; se prevé que convergirán en beneficio del bienestar social. La investigación sobre la convergencia tecnológica y de innovación adquiere una enorme trascendencia en la medida en que permite a los países identificar y analizar los factores que pueden ayudar a los países seguidores y con menor desarrollo adquirir tendencias convergentes hacia los países líderes en los nuevos paradigmas tecnológicos. En tales procesos, la meta es que los países de menores ingresos per cápita logren convergir en el desempeño económico y social de los países de mayores ingresos per cápita.

En el contexto del nuevo paradigma de la nanotecnología, ciertos países han desplegado notables esfuerzos en lo que concierne a la investigación y desarrollo y también de innovación, con ventajas sustanciales en las áreas tecnológicas de nanomateriales, aplicación masiva en nanomanufacturas, medicina molecular y salud, procesos ambientales y de energía, biotecnología y agricultura, electrónica, tecnología de información y comunicación y de seguridad nacional. El liderazgo de la innovación de Estados Unidos es manifiesto, seguido con una considerable distancia por Japón, Corea del Sur, Taiwán y China. Otros países industrializados y emergentes

¹⁵ El valor del coeficiente β estimado en la regresión no puede ser interpretado de acuerdo con el fenómeno estudiado, ya que la variable dependiente $PatNano_{i,2000-2010}$ representa una tasa de crecimiento, mientras que la variable independiente $\ln PatNano_{2000,i}$ se halla en logaritmo natural. Con este propósito, se calcula la elasticidad dividiendo el valor de β entre la media de $PatNano_{i,2000-2010}$. De esta forma, si el valor de la elasticidad es mayor que 1, entonces es elástica y si es menor que 1 es inelástica.

muestran un esfuerzo creciente para lograr incorporarse en este nuevo paradigma tecnológico, no sólo en términos de su adopción, sino de convergirse en la línea de innovación.

Este estudio contribuye, en el tema de convergencia tecnológica, a desarrollar un modelo que se propone corroborar si es posible la convergencia de otros países con el país líder en el largo plazo en el nuevo paradigma de las nanotecnologías, así como identificar los factores que condicionan tal proceso de convergencia.

Las diferentes estimaciones econométricas permitieron la formulación de un modelo confiable, por lo que algunas variables fueron descartadas. Así, nuestra hipótesis de convergencia condicional entre países en la nanotecnología parece confirmarse parcialmente.

Particularmente, los hallazgos de este estudio permiten corroborar la convergencia en este nuevo paradigma tecnológico entre países en el largo plazo en la medida en que países industrializados, emergentes y otros de mayor rezago alcancen mayores tasas de crecimiento de innovación en nanotecnología que el país líder, a condición de lograr mayor crecimiento en la acumulación de conocimiento tecnológico. Es decir, que la convergencia tecnológica y de innovación de los países al nuevo paradigma de la nanotecnología está condicionada a mayor acumulación de conocimiento tecnológico en las nanotecnologías (medida por las citas de patentes precedentes hechas por las patentes en el área de nanotecnologías).

Las capacidades inventivas de los investigadores, mediante el apoyo dado a los equipos de investigación en nanotecnología y los vínculos entre la actividad científica y la tecnológica, así como el combate contra debilidades institucionales (por ejemplo, casos de corrupción), son variables que aunque no resultaron significativas, sí podrían ser favorables a la convergencia en la actividad inventiva en la nanotecnología en el largo plazo entre países, en la medida en que este paradigma se extienda a más países. No obstante, estas variables podrían ser consideradas en el diseño de políticas económicas orientadas a favorecer la actividad inventiva en este sector.

La convergencia hacia el nuevo paradigma de la nanotecnología es un reto para los países. Este proceso tendrá enormes externalidades positivas, entre ellas incorporarse a la dinámica de la convergencia cognitiva que la nanotecnología presupone.

Anexo

Anexo 1. Prueba VIF

Multicolinealidad: Prueba VIF		
Variable	VIF	1/VIF
BkwPatCiti2000-2010	1.14	0.875715
InstWeaki2005-2010	1.13	0.884724
lnPatNano0i2000-2010	1.11	0.89687
SizeRTi2000-2010	1.1	0.909468
ScTecLinkiNanoi2000-2010	1.02	0.977862
Media VIF	1.1	

Fuente: elaboración propia con base en la estimación del modelo

Referencias

- Abramovitz, M. (1986). Catching up, forging ahead, and falling behind. *The Journal of Economic History*, 46(2), 385-406.
- Abramovitz, M., & David, P. A. (1996). Convergence and deferred catch-up: productivity leadership and the waning of American exceptionalism. In: Ralph Landau, Timothy Taylor y Gabin Wright (eds), *The Mosaic of Economic Growth*, Santanford, Stanford University Press, pp. 21-62.
- Abicht, L., Freikamp, H., Schumann, U., Bulgarelli, A., & Lettmayr, C. (2006). *Identification of skill needs in nanotechnology*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Allarakhia, M., & Director, B. (2011). Convergence innovation: nanotechnology development at the intersection of disciplines, *Organizations and Products*. Retrieved May, 30, 2014. http://www.bioendeavor.net/CommonData/Resources/Nano_Convergence.pdf
- Bainbridge, W. S. (2007). *Nanoconvergence: the unity of nanoscience, biotechnology, information technology and cognitive science*. USA: Pearson Education.
- Barro, R. J. & Sala-i-Martin, X. (1995). *Economic Growth*, Nueva York: Mc Graw Hill.
- Breschi, S., & Lissoni, F. (2006). Knowledge Networks from Patent Data Methodological Issues and Research Targets in Henk FM, W. Glänzel and U. Schmoch (eds.) *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*.
- Cooper, C. & Larsen-Basse, J. (2006). *Nanoscale Science and Engineering Initiatives at National Science Foundation -NSF-*. International Conference on Nanotechnology, 26-28 abril, Atlanta.
- Duguet, E., & MacGarvie, M. (2005). How well do patent citations measure flows of technology? Evidence from French innovation surveys. *Economics of Innovation and New Technology*, 14(5), 375-393. <https://doi.org/10.1080/1043859042000307347>
- Aminullah, E., Fizzanty, T., Indraprahasta, G. S., & Asmara, I. J. (2015). Technological convergence in Indonesian firms: cases of biobased chemical product innovation. *Asian Journal of Technology Innovation*, 23(sup1), 9-25. <https://doi.org/10.1080/19761597.2015.1011259>
- Fagerberg, J. (1987). A technology gap approach to why growth rates differ. *Research Policy*, 16(2-4), 87-99. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(87\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(87)90025-4)
- Fagerberg, J., Fosaas, M., & Sapprasert, K. (2012). Innovation: Exploring the knowledge base. *Research Policy*, 41(7), 1132-1153. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.008>
- Falkenberg, G., Johnson, R. L., & Takeuchi, N. (2001). Scanning tunneling microscopy and ab initio calculations: c (4× 8) reconstructions of Pb on Si and Ge (001). *Physical Review B*, 64(3), 035304. <https://doi.org/10.1103/physrevb.64.035304>
- Gay, C., & Le Bas, C. (2005). Uses without too many abuses of patent citations or the simple economics of patent citations as a measure of value and flows of knowledge. *Economics of Innovation and New Technology*, 14(5), 333-338. <https://doi.org/10.1080/1043859042000307310>
- Gershenkron, A. (1952). Economic backwardness in Historical Perspective. In Berthold Frank Hoeselitz (ed) *The Progress of Underdeveloped Areas*, Chicago: The University of Chicago Press; pp. 3-29.
- Hall, J. Storrs. (2005). *Nanofuture: what's next for nanotechnology*. Nueva York: Prometheus Books.
- Harhoff, D., Scherer, F. M., & Vopel, K. (2003). Citations, family size, opposition and the value of patent rights. *Research Policy*, 32(8), 1343-1363. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(02\)00124-5](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(02)00124-5)
- Hu, A. G., & Jaffe, A. B. (2003). Patent citations and international knowledge flow: the cases of Korea and Taiwan. *International Journal of Industrial Organization*, 21(6), 849-880. <https://doi.org/10.3386/w8528>
- Jaffe, Adam, B. & Trajtenberg, M. (2002). *Patent, Citations, and Innovations*. London: The MIT Press Cambridge.
- Kim, E., Kim, J., & Koh, J. (2014). Convergence in information and communication technology (ICT) using patent analysis. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 11(1), 53-64. <https://doi.org/10.4301/s1807-17752014000100004>
- Kim, N., Lee, H., Kim, W., Lee, H., & Suh, J. H. (2015). Dynamic patterns of industry convergence: Evidence from a large amount of unstructured data. *Research Policy*, 44(9), 1734-1748. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2015.02.001>

- Lee, K. R. (2015). Toward a new paradigm of technological innovation: convergence innovation. *Asian Journal of Technology Innovation*, 23(sup1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/19761597.2015.1019226>
- Lee, K. R., Yun, J. J., & Jeong, E. S. (2015). Convergence innovation of the textile machinery industry in Korea. *Asian Journal of Technology Innovation*, 23(sup1), 58-73. <https://doi.org/10.1080/19761597.2015.1011260>
- Maldonado, C. (2007). Filosofía de la Ciencia y la Nanotecnología. En: J. Giraldo, E. González y F. Gómez-Baquero (Eds.), *Nanociencia. Nociones preliminares sobre el universo microscópico*: Bogotá, Ed. Buinaima, 69-80.
- Manca, F. (2010). Technology catch-up and the role of institutions. *Journal of Macroeconomics*, 32(4), 1041-1053. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2010.07.004>
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437. <https://doi.org/10.3386/w3541>
- Müller, G. y Righi, M.L. (2002). Nanochimie und Nanometaterialien. Venture Capital, *Magazine Nanotechnologie*, 28-29.
- Nelson, R. R., & Wolff, E. N. (1997). Factors behind cross-industry differences in technical progress. *Structural Change And Economic Dynamics*, 8(2), 205-220. [https://doi.org/10.1016/s0954-349x\(96\)00079-3](https://doi.org/10.1016/s0954-349x(96)00079-3)
- Nelson, R. R., & Phelps, E. S. (1966). Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *The American Economic Review*, 56(1/2), 69-75.
- Igami, M., & Okazaki, T. (2007). *Capturing nanotechnology's current state of development via analysis of patents*. Sti working paper 2007/4 Statistical Analysis of Science, Technology and Industry, Paris, OCDE.
- Oh, C., & Joo, S. H. (2015). Is the technological capability gap between Hyundai and Mitsubishi converging or diverging? Findings from patent data analysis. *Asian Journal of Technology Innovation*, 23(sup1), 109-128. <https://doi.org/10.1080/19761597.2015.1019576>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) (2013). *Symposium on Assessing the Economic Impact of Nanotechnology*. Synthesis Report OECD/NNI.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2015). *Key Nanotechnology Indicators*.
- Palmberg, C., Dermis, H., & Miguët, C. (2009). *Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. Paris, OCDE.
- Park, J., & Lee, K. (2015). Do latecomer firms rely on 'recent' and 'scientific' knowledge more than incumbent firms do? Convergence or divergence in knowledge sourcing. *Asian Journal of Technology Innovation*, 23(sup1), 129-145.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2014.) *Informe sobre Desarrollo Humano*.
- Poole, C. P. & Owens, F. J. (2007). *Introducción a la nanotecnología*. Barcelona: Ed. Reverte.
- Roco, M. C. (2007). *National nanotechnology initiative-past, present, future. Handbook on nanoscience, engineering and technology*. Ed. Goddard, WA et al. CRC, Taylor and Francis, Boca Raton and London.—2007.—P, 3-1.
- Roco, M. C., & Bainbridge, W. S. (2005). Societal implications of nanoscience and nanotechnology: Maximizing human benefit. *Journal of Nanoparticle Research*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11051-004-2336-5>
- Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanopart Research* 13, 427-445. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1168-6_1
- Roco, M. C., & Bainbridge, W. S. (2013). The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(9), 1946. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1946-1>
- Rogers, M. (2003). *Knowledge, technological catch-up and economic growth*. Edward Elgar.
- Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. London: The Royal Society & The Royal Academy of Engineering.
- The Global Competitiveness Report (2005) *World Economic Forum (WEF) Geneva*, Switzerland.
- The Global Competitiveness Report (2010) *World Economic Forum (WEF) Geneva*, Switzerland
- Tourney, C. (2005). Apostolic succession. *Engineering and Science*, 68(1), 16-23.
- Trajtenberg, M. (1990). A penny for your quotes: patent citations and the value of innovations. *The Rand Journal of Economics*, 21 (1), 172-187. <https://doi.org/10.2307/2555502>
- Trajtenberg, M., Henderson, R., & Jaffe, A. (1997). University versus corporate patents: A window on the basicness of invention. *Economics of Innovation and new technology*, 5(1), 19-50.
- USPTO (2007). *Classification Definitions Class 977*. Nanotechnology, octubre.