



Las patentes como instrumento metodológico para identificar procesos de convergencia tecnológica: el caso de la bio y nanotecnología

Patents as a methodological instrument to identify technological convergence processes: the case of bio and nanotechnology

Juan Reyes Álvarez^{a*}, Mario Alberto Morales Sánchez^{b**}, Marcela Amaro Rosales^{c***}

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
**Facultad de Economía, UNAM
*** Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM

RESUMEN

El presente artículo propone una reflexión acerca de una posible ruta metodológica para comenzar a comprender de una manera plausible las implicaciones de la convergencia en tecnologías convergentes como lo es la bio y la nanotecnología. Para esto se retoma la metodología propuesta por Jeong, Kim y Choi (2015) para la medición de la convergencia a través de patentes. Además, se proponen adaptaciones, que abarcan el uso desde otras fuentes de información, y las clasificaciones tecnológicas que definen a la bio y nanotecnología. Se observa que existe convergencia reducida entre los sectores citados, como la principal literatura sobre el tema subraya (Roco *et al.*, 2013), por último, se caracteriza dicha convergencia en cuanto a tecnologías y empresas.

ABSTRACT

This article proposes a reflection on a possible methodological route in order to begin to understand, in a plausible manner, the implications of convergent technologies such as bio and nanotechnology. The methodology proposed by Jeong, Kim and Choi (2015) for the measurement of convergence through patent is retaken. In addition, adaptations are proposed, which cover the use of other sources of information, and the technical classifications that define bio and nanotechnology. It is observed that there is reduced convergence between the mentioned sectors, as the main literature on the subject underlines (Roco, Bainbridge, Tomn, and Whitesides, 2013). Finally, the convergence is characterized in terms of technologies and companies.



Recibido: 25 de septiembre de 2017;
aceptado: 6 de noviembre de 2017



Palabras clave:
convergencia,
biotecnología,
nanotecnología,
patentes.



Keywords:
Convergence,
biotechnology,
nanotechnology,
patents.



Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

El tema de la convergencia tecnológica ha comenzado a ser discutido desde muy diversas perspectivas. En algunos casos ha servido para identificar los procesos a través de los cuales la conjunción de diversas ciencias y/o tecnologías contribuyen a la resolución de problemáticas de muy variada índole, lo que incluye aspectos relacionados con la salud, el medio ambiente, la economía, la industria y la vida social en general. Cada vez es más común escuchar de grupos multi, inter o transdisciplinarios que colaboran de distintas maneras en la generación de conocimiento, tecnología o innovaciones.

Es bajo esta perspectiva que el presente trabajo propone una reflexión acerca de una posible ruta metodológica para comenzar a comprender de una manera plausible las implicaciones de la convergencia en tecnologías emergentes como lo es la bio y la nanotecnología. Se han tomado éstas como unidades de análisis, dado que son ejemplos representativos cada una y en conjunto, de los procesos de convergencia.

Aún son pocos los trabajos que más allá de la discusión teórica proponen un mecanismo de acercamiento al tema de la convergencia tecnológica, es por ello que, este artículo tiene como objetivo fundamental seguir la metodología existente mediante el uso de las patentes para identificar los siguientes elementos: *a)* convergencia y coincidencia respecto al esfuerzo inventivo (número de patentes); *b)* principales agentes que realizan el esfuerzo inventivo; *c)* principales campos de tecnologías convergentes y; *d)* regiones geográficas donde se gesta la convergencia.

El uso de patentes para el estudio de la convergencia se centra principalmente en el nivel de la convergencia tecnológica, ya que las patentes representan una oportunidad real de introducir nuevos productos y procesos en el mercado; aunque también expresa de manera indirecta la convergencia cognitiva y científica que debe prevalecer como elemento articulador de los desarrollos tecnológicos.

Dado que el tema de la convergencia se encuentra en proceso de desarrollo, la metodología encuentra limitantes, pero a pesar de ello, se considera que el trabajo mantiene hallazgos que permiten observar convergencia reducida en los campos, así como caracterizar a la misma con posibles tendencias.

El artículo busca responder las siguientes preguntas: ¿existe algún tipo de convergencia y coincidencia respecto al esfuerzo inventivo (número de patentes)?, ¿cuáles son los principales agentes que realizan el esfuerzo inventivo y los principales campos convergentes? y ¿cuáles son las regiones geográficas donde se gesta la convergencia? Para esto se encuentra dividido en cinco apartados, en el primero se expone un acercamiento a la convergencia del conocimiento, en el segundo se expone cómo las patentes ayudan a reconocer nuevas tendencias de la actividad inventiva e innovación, en el siguiente se expone la metodología, en el cuarto se presentan los principales resultados, por último, se presentan las consideraciones finales.

SOBRE EL CONCEPTO DE CONVERGENCIA

A pesar de que la idea de “convergencia” contiene diversos referentes conceptuales y analíticos, en este trabajo se alude a una interpretación reciente que emergió a partir de la llamada iniciativa Nanotecnología, Biotecnología, Informática y Ciencias Cognitivas (NBCI por sus siglas en inglés), financiada por el gobierno de los Estados Unidos a inicios de siglo. Dicha iniciativa mantuvo el objetivo principal de unificar los campos científicos emergentes de la nanotecnología, biotecnología, informática y ciencias cognitivas con el objetivo de generar nuevas tecnologías que potencializaran las capacidades humanas y mejoraran su calidad de vida (Roco y Bainbridge, 2003). Esta primera interpretación se ha modificado paulatinamente, dotando a la idea original de mayor complejidad en cuanto a su alcance y contenido.

En la actualidad el proceso de convergencia es definido como la interacción acumulativa y transformadora que se lleva a cabo entre distintas disciplinas científicas, desarrollos tecnológicos y las comunidades que los generan, con el propósito de lograr mayor integración, objetivos compartidos, así como mayor sinergia en su aplicación e implementación. Un segundo objetivo vinculado con el anterior es la creación de valor a través de la generación de nuevos productos y mercados (Roco *et al.*, 2013). Adicionalmente, los procesos de convergencia

permiten una aceleración considerable en la generación de conocimiento colectivo, lo que a su vez repercute positivamente en el incremento de la velocidad con que se realizan innovaciones tecnológicas (Morales y Villavicencio, 2015).

De acuerdo con Stezano (2016) la esencia del concepto de convergencia desde la perspectiva antes citada implica el desarrollo de una investigación inter-disciplinaria, es decir, la integración cognitiva de distintas disciplinas científicas y tecnológicas a partir de la constitución de metas comunes. Se requiere la construcción de un lenguaje compartido que tienda a identificar las múltiples intersecciones posibles entre las distintas disciplinas, y que haga de estas intersecciones un objeto de estudio en sí mismo. A final de cuentas se trata de fomentar la combinación o convergencia entre disciplinas científicas que han tendido a constituirse como organismos semi-autosuficientes.

Ahora bien, este proceso de convergencia ocurre en diversos niveles: *a)* convergencia científica, en la que se mezclan diferentes disciplinas para generar un nuevo campo de conocimiento; *b)* convergencia tecnológica, que combina diversas tecnologías aplicadas en distintas áreas, conjuntándolas y desarrollando con ellas unidades nuevas de tecnología; y *c)* convergencia industrial, en la cual se unen distintas compañías con tecnologías, mercados y estrategias distintas, para conformar una nueva unidad de negocios unificada (Curran y Leker, 2011).

Cabe precisar que este trabajo se centra en la convergencia entre la bio y nanotecnología, ésta se puede definir como el resultado de actividades que utilizan herramientas de ambos sectores para la solución de nuevos problemas que abarcan de forma indisoluble la comprensión de ambas disciplinas. Se asume, que dicha convergencia comprende los aspectos científicos, técnicos e industriales porque tanto la bio como la nanotecnología han evolucionado principalmente por la cobertura de necesidades sociales y de mercado, por lo que la ciencia, la tecnología y la producción se encuentran totalmente unidas. Por último, la convergencia podría ser resultado o no de una intencionalidad que busque ocupar las actividades citadas, pero que en cualquier caso son capaces de generar un nuevo sector diferenciable de los existentes.

Tanto la bio como la nanotecnología son en sí mismas

tecnologías convergentes en su interior (intra-sector), ya que cada una requiere de la conjunción de diversas áreas de conocimiento para poder desarrollarse. La biotecnología de última generación es una actividad multidisciplinaria basada en el conocimiento de disciplinas científicas como la biología molecular, ingeniería bioquímica, microbiología, genómica, inmunología y otras relacionadas con el análisis de los organismos vivos (Amaro y Morales, 2016). Dicha conjunción permite solucionar problemas específicos, pero que requieren de la participación de diversos especialistas. Por su parte, la nanotecnología también hace uso de diversas disciplinas científicas y tecnológicas como la química orgánica, biología molecular, física de los semiconductores, micro fabricación, biotecnología, matemáticas e informática entre otras. Como se observa, ambas tecnologías son sectores que por su naturaleza refleja el proceso de convergencia ya que se requiere de la multidisciplinariedad para su desarrollo.

EL USO DE PATENTES COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA TECNOLÓGICA

Como se ha mencionado, la convergencia ocurre en varios niveles; como el industrial, el tecnológico y el de mercado (Curran y Leker, 2011). En ese sentido, una primera aproximación para analizar la convergencia tecnológica son las patentes, porque reflejan el esfuerzo inventivo de agentes que tienen como expectativa llevar nuevos productos al mercado y obtener beneficios (convertir invenciones en innovaciones). A continuación se describirá el uso de las patentes como un indicador que expresa la actividad inventiva de empresas y otras organizaciones y la utilización de la información contenida en ellas para estudiar la convergencia tecnológica entre bio y nanotecnología.

El uso de patentes como un indicador que representa los esfuerzos inventivos tiene larga data, existe a partir de 1886, cuando Kintner utilizó información de la oficina de patentes de Estados Unidos (aún no *United States Patent and Trademark Office USPTO*) para narrar la historia del arte eléctrico y sus avances. Sin embargo, el primer trabajo “estadístico” de patentes fue elaborado por Schmookler (1962), quien tenía como objetivo deter-

minar que la demanda afecta a la actividad inventiva. Los estudios que le siguieron a dicho trabajo tomaron a las patentes como una medida del cambio tecnológico y de la actividad inventiva (Comanor y Sherer, 1969), a nivel de firma (Sanders, Rosman y Harris, 1959, Sherer, 1965), o tratando de relacionar el gasto en investigación y desarrollo y las patentes (Hall, Griliches y Hausman, 1986; Pakes, 1985). En especial, es el trabajo realizado por Griliches (1979) el de mayor aporte, al proponer una función de producción de conocimiento basada en *spillovers* (o mejor conocidas como externalidades positivas de las que se ven favorecidos agentes que no invierten para la generación de conocimientos) de conocimiento y el uso de patentes.

Hasta inicios de los años ochenta ocurrieron pocos avances en el uso de patentes como indicador tecnológico, cuando Pavitt (1984) desarrolló una taxonomía que describía los sectores tecnológicos de la siguiente manera: *a*) dominio de los proveedores; *b*) intensivos en escala; *c*) intensivos en información; *d*) basado en ciencia; y *e*) proveeduría especializada. La aportación que hizo fue la de clasificar las invenciones plasmadas en patentes en función de esta taxonomía, lo cual repercutió enormemente en los estudios sectoriales y de innovación, principalmente en los análisis desarrollados por la escuela de Sussex, con gran impacto en la teoría económica de la innovación.

Hasta entonces, el uso de las patentes como un indicador que representa actividad inventiva se basó principalmente en conteos estadísticos o correlaciones con otras variables. Con el desarrollo de las computadoras fue posible realizar una organización sistemática de los datos que contienen las propias patentes, los cuales se volvieron mucho más accesibles y manejables, dejando a un lado el tedio de reunir los datos revisando patente por patente. Lo anterior representó un salto cuantitativo y cualitativo para el uso de las patentes como un indicador de la actividad inventiva; esta nueva metodología fue propuesta por el grupo del Buró Nacional de Investigación Económica de los Estados Unidos (NBER por sus siglas en inglés).

Las principales aportaciones consistieron en tomar a las patentes como una representación de los flujos de conocimiento entre regiones, empresas e inventores. Es decir, la patente sirve para medir los flujos de conocimiento o información tecnológica entre las diversas

organizaciones involucradas (empresas, universidades, centros de investigación, entre otras).

Al respecto, Jaffe (1986) detectó mediante citas de patentes los *spillovers* a nivel de firma, lo que constituyó uno de los primeros trabajos de su tipo (usando citas). Por su parte, Trajtenberg (1990) estudió las patentes y su peso o valor relativo considerando sus citas. En el mismo sentido, los estudios de Jaffe, Trajtenberg y Henderson (1992) observaron que las patentes de Estados Unidos son citadas con mayor frecuencia por patentes de mismo país. Jaffe y Trajtenberg (1998), exploraron el patrón de citas entre patentes de inventores de Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Alemania y Japón; encontrando que es más probable citar entre sí las patentes de una misma empresa, y estas citas aparecen con más frecuencia que citas que son hechas por otras firmas. El uso de las citas también permitió el mapeo de redes entre empresas como lo hizo Verspagen (2000) o Fleming, King III y Juda (2007), quienes usaron las patentes para observar si las relaciones de inventores de California conformaban una red de mundo pequeño, es decir una alta densidad de clúster y pocos saltos para llegar a de un nodo a otro.

Sobre la convergencia y el uso de patentes, un primer acercamiento lo hicieron Fleming y Sorenson (2001), así como Sorenson, Rivkin y Fleming (2006), planteando que se puede conocer la complejidad del conocimiento tecnológico, al determinar la combinación posible entre diferentes clases tecnológicas, esta metodología ayudaría a identificar la intensidad de combinación entre diferentes clases de patentes; y daría pie a reconocer diferentes niveles de convergencia.

En contraparte, algunos otros autores han usado las clasificaciones de patentes para medir la diversidad tecnológica (Suzuki y Kodama, 2004; Reyes, 2016), lo que podría ser entendido como la divergencia. Lo anterior, utilizando indicadores de entropía e información mutua, indicadores que provienen de la teoría de la información.

A partir de lo expuesto se aprecia que las patentes no solo se han utilizado como medida del esfuerzo inventivo, sino también que la metodología de medición ha evolucionado con el tiempo.

METODOLOGÍA Y MATERIALES

Lo que se plantea en este trabajo es que las patentes permiten también medir la convergencia tecnológica entre dos sectores o campos tecnológicos. Si bien, en el apartado anterior se mencionaron algunos acercamientos para comprender la convergencia mediante patentes, realmente es al menos hasta Curran y Leker (2011) que se propone un conteo específico que retome el concepto de convergencia y el uso de patentes. Lo anterior mediante clasificaciones, específicamente en los sectores de telecomunicaciones y alimentos.

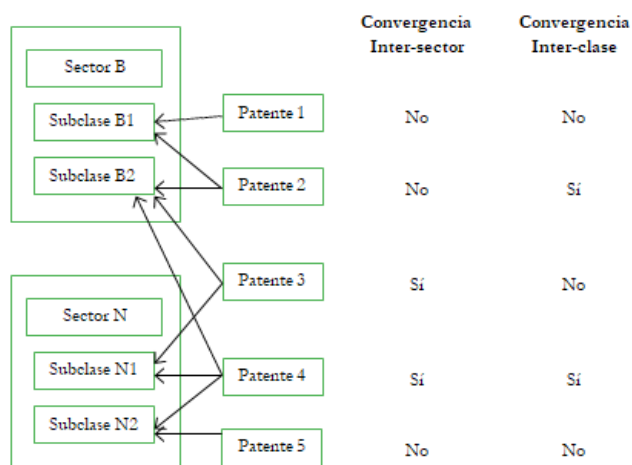
Karvonen y Kässi (2013) desarrollaron una medición de convergencia a través de las citas de patentes, una vez seleccionadas ciertas patentes se retoma a quién citan y por quién son citadas, y se pondera aquellas subclases a las que pertenecen. Sin embargo, uno de los principales problemas de este método para medir la convergencia tecnológica es el que las citas pueden ser asignadas por un examinador.

Por otro lado, Jeong *et al.* (2015) proponen una medida de convergencia a partir del uso de patentes basada en los trabajos de Curran y Leker (2011); Geum *et al.* (2012), y Jeong (2014). Dicha propuesta se resume en el esquema 1, y es la que se retoma en este trabajo. En el lado derecho se aprecian dos recuadros que representan dos sectores tecnológicos, en este caso los sectores de biotecnología y nanotecnología (Sector B y N respectivamente). Dentro de cada sector existen subclases definidas como campos (Jeong *et al.*, 2015), este número de subclases representan todas las subclases de patentes para cada sector (que puede variar según el sector y de la institución que realice la clasificación). Junto a los sectores se ubican 5 patentes que direccionan a las subclases en donde han sido ubicadas por los inventores o dictaminadores de las mismas. Junto a los recuadros se señala si existe convergencia en dos niveles: inter-sector e inter-clase. La convergencia inter-sector representa la convergencia que podría existir entre biotecnología y nanotecnología.

Por su parte, la convergencia inter-clase, se define como la convergencia entre las subclases al interior de cada sector. Por ejemplo, en el Esquema 1, la patente 2 se encuentra clasificada en la subclase B1 y B2 del sector B, pero no tiene ninguna relación el sector N, por lo que representa un parámetro de convergencia inter-clase. En cambio, el caso de la patente 3 representa conver-

gencia inter-sector e inter-clase o intra-sector, ya que se encuentra clasificada al mismo tiempo en la subclase B2 que pertenece al sector B, y en la subclase N1 que pertenece al sector N. Es decir, es una patente que ha sido clasificada al mismo tiempo en el sector de la biotecnología y la nanotecnología, por lo que existe una alta probabilidad de que contenga conocimientos científicos de ambos sectores, y que su implementación implique la imbricación de tecnologías que provienen también de ambos sectores.

Esquema 1. Marco de definición de convergencia



Fuente: adaptado del original de Jeong *et al.* (2015).

Cabe mencionar que, en dicho trabajo, se encontró que para el caso de Corea del Sur, existía una convergencia creciente para las áreas tecnológicas, de las tecnologías de la información, nanotecnología y biotecnología. Una ventaja de este método es la precisión para delimitar las subclases y saber con mayor aproximación si están convergiendo dichos sectores.

Considerando lo anterior, es posible trabajar la convergencia tecnológica de una manera sencilla con el uso de la información contenida en patentes. A continuación, se expondrá el tipo de información que se utilizó para verificar la existencia de convergencia, que se diferencia de la planteada por Jeong *et al.* (2015) porque aquí se

utiliza la base estadounidense y porque se combina la clasificación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés) para biotecnología y de la USPTO (Oficina de Marcas y Patentes de Estados Unidos por sus siglas en inglés) para nanotecnología.

La información recopilada para este trabajo consideró patentes otorgadas en el periodo de 1975 a 2015, en las subclases tecnológicas correspondientes con el sector biotecnológico y el de nanotecnología. Las clasificaciones que se retomaron corresponden con diferentes propuestas. Para el caso de la biotecnología se consideró la clasificación propuesta por Van Beuzekom (2001), Devlin (2003) y OECD (2005), donde se consideran al menos 30 subclases de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) definida por la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI). Dentro de ese conjunto de subclases se pueden identificar subclases de biotecnología enfocada a sectores como el agrícola, ganadero, medioambiental y farmacéutico, entre las principales (Amaro y Morales, 2016). Por otro lado, para determinar las patentes de nanotecnología se consideró la propuesta de la USPTO en la que se identifica la clase 977 que cuenta con 263 subclases (de manera explícita la clase 977 hace alusión a nanotecnología).

Para el caso de las patentes de biotecnología se utilizaron 163,996 patentes otorgadas entre 1976 y 2015. No obstante, puesto que una patente puede ser definida por una o más subclases, las gráficas que se presentan más adelante pueden no coincidir con los totales y ser mayor la suma de las subclases al total de patentes. En el caso de nanotecnología se encontraron 11,017 patentes. Una vez determinado el universo de patentes a utilizar se extrajo la información bibliográfica, las subclases más importantes, los agentes más representativos y la localización geográfica de las mismas, con el propósito de encontrar patentes en las que existe convergencia tecnológica entre los dos sectores analizados.

RESULTADOS

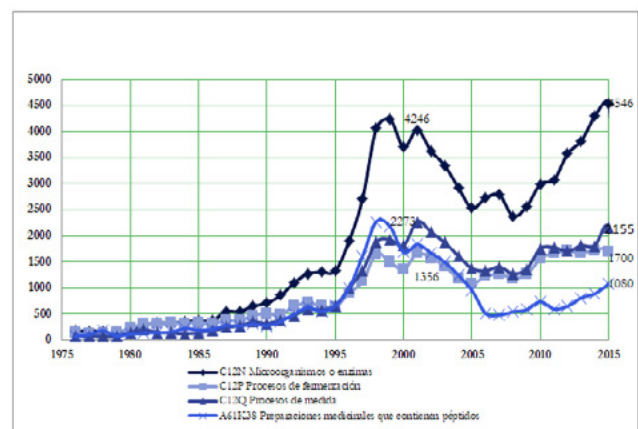
En este apartado se muestran los principales resultados, en principio se consideró revisar cuáles eran las clases tecnológicas o subclases tecnológicas en las que más esfuerzo inventivo se ve plasmado en las patentes

concedidas en USPTO. En el caso de la biotecnología, se consideran al menos cuatro (gráfica 1 y cuadro 1): C12N Microorganismos o enzimas que sirven para producir biocidas, fertilizantes, propagadores de cultivos y también se plasman en técnicas de mutación genética en vegetales; C12Q Medición, reactivos, procesos para preparar microorganismos; C12P Procesos de fermentación; A61K38 Preparaciones para uso médico.

Como se mencionó una patente puede situarse en una o más subclases tecnológicas. Se aprecia en la gráfica 1 que en la subclase C12N es donde más patentes se han otorgado, para 2015 se otorgaron 4,546 patentes, creciendo a una tasa promedio anual (TCPA) de 8.68% (cuadro 1). Le sigue la subclase C12Q con 2,155 patentes en el año 2015 y con una TCPA de 8.95%. En tercer y cuarto lugar se encuentran las subclases C12P y A61K38 con 1,700 y 1080 patentes, respectivamente. Por otro lado, entre el periodo 1976- 1999 se observa un incremento sustancial del otorgamiento de patentes, sin embargo, esta decae (este trabajo desconoce la causa) para el año 2008, para después incrementarse sustancialmente hasta 2015.

Se puede apreciar un papel importante de dichas subclases, ya que estas ocupan en su totalidad el número de patentes asignadas en biotecnología, las otras 26 subclases si bien tienen asignadas patentes se encuentran con menor frecuencia que las cuatro mencionadas.

Gráfica 1. Principales clases tecnológicas en biotecnología 1976-2015



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

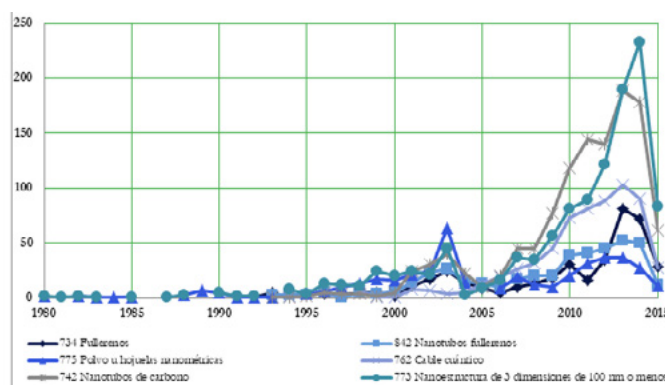
Cuadro 1. Tasas de crecimiento promedio anual

	C12N Microorganismos o enzimas	C12P Procesos de fermentación	C12Q Procesos de medida	A61K38 Preparaciones medicinales que contienen péptidos
1976-2015	8.68	6.55	8.95	7.01
1976-1990	10.61	10.91	10.64	7.18
1990-1999	21.98	12.91	22.24	25.61
1999-2008	-6.22	-2.52	-4.50	-14.33
2008-2015	7.45	4.02	6.00	7.96

Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

Por otro lado, las subclases representativas en nanotecnología son 6 (gráfica 2 y cuadro 2): 977/773 Nanoestructura de 3 dimensiones, en la cual se han concedido 1,160 patentes en el periodo de 1980-2015; 977/742 Nanotubos de carbono, de la cual se han otorgado 1,170 patentes; 977/762 Cable cuántico cuenta con 634 patentes, 977/775 Polvo y hojuelas nanométricas con 430 patentes; por último 977/842 y 977/734 Nanotubos fullerenos y fullerenos (tercera forma estable de carbono, después del grafito y los diamantes) con 428 y 410 patentes respectivamente. La evolución en los últimos 35 años del esfuerzo inventivo en nanotecnología sigue la misma tendencia, un repunte en 2003 pero inmediatamente después una caída con un rápido incremento en 2013; sin embargo, es muy notoria la caída de los últimos dos años. Dicha tendencia es muy parecida a la de la biotecnología, pero la diferencia más importante es que en términos absolutos el número de patentes concedidas en biotecnología es mucho mayor que dentro de la nanotecnología.

Gráfica 2. Principales subclases de patentes en nanotecnología (clase 977) 1980-2015



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

La diferencia sustancial en cuanto al número de patentes entre bio y nanotecnología se evidencia aún más cuando estas se agrupan en cada sector y se comparan

Cuadro 2. Tasas de crecimiento promedio anual

	734 Fullerenos	842 Nanotubos fullerenos	775 Polvo u hojuelas nanométricas	762 Alambre cuántico	742 Nanotubos de carbono	773 Nanoestructura de 3 dimensiones de 100 nm o menos
1998-2015	10.89	5.28	-0.98	9.48	17.50	12.62
1998-2005	8.76	14.63	-100.00	11.68	13.99	-2.83
2006-2013	48.86	26.56	22.38	27.31	37.83	42.40

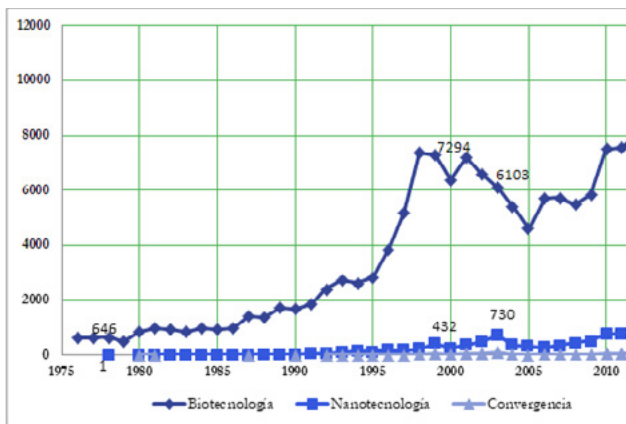
Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).



(gráfica 3). La diferencia es notable: mientras que antes de 1980 en nanotecnología apenas se registraba una patente, ya existían 646 patentes biotecnológicas. Para 1999, una diferencia marcada sigue estando presente: 7,294 patentes en biotecnología y 432 en nanotecnología, para 2015 la historia se repite 11,441 y 1,106 patentes respectivamente.

En la gráfica 3 se muestran las patentes que pertenecen a ambos sectores tecnológicos y aquellas patentes conjuntas que podrían representar convergencia tecnológica. Se observan las diferencias sustanciales antes referidas entre ambos sectores, pero también el hecho de que las patentes de convergencia representan un porcentaje poco significativo (la gráfica 4 muestra un acercamiento de las patentes en nanotecnología y de convergencia de la gráfica 3 para su mejor visualización). Por ejemplo, para el año 2003, 730 patentes de nanotecnología fueron otorgadas, mientras que 6,103 para biotecnología, de las cuales sólo 115 son patentes en las que existe convergencia tecnológica. En términos relativos, la convergencia tecnológica representa 15.75% de las patentes de nanotecnología en ese año, sin embargo, para la biotecnología apenas 1.88%. Es cierto que esto se debe al amplio número de patentes que se consideran para biotecnología, pero aun así la diferencia es muy amplia. Para 2014 las patentes de convergencia representaron 20% del total de patentes en nanotecnología, pero el porcentaje de convergencia respecto a la biotecnología aumentó marginalmente respecto al de 2003 (1.9%).

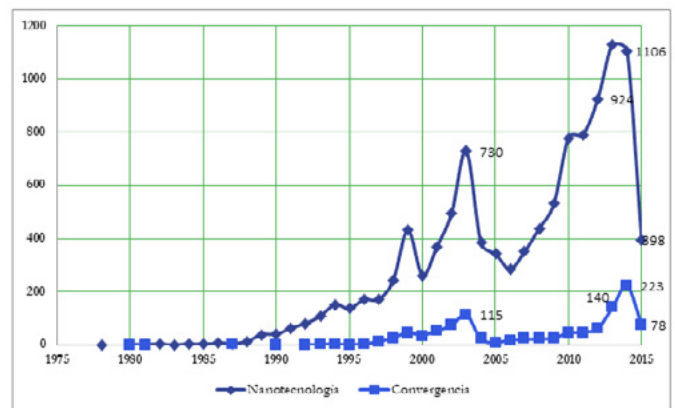
Gráfica 3. Patentes en biotecnología, nanotecnología y su convergencia 1975-2015 (USPTO)



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

Una conclusión importante que se extrae de estos datos es que el desarrollo de la nanotecnología puede estar muy ligado a los avances en el campo de la biotecnología. A través del análisis de patentes es posible formular la hipótesis de que la nanotecnología mantiene una relación cognitiva y tecnológica importante con biotecnología, de ahí que la convergencia exista al menos en 20% de sus aplicaciones tecnológicas. Por otro lado, no puede decirse lo mismo de la biotecnología respecto de la nanotecnología. De acuerdo con los datos obtenidos, la biotecnología sigue un cauce cognitivo y tecnológico propio, en el que los temas de convergencia con la nanotecnología siguen siendo una pequeña proporción de todo el conocimiento generado y registrado en patentes.

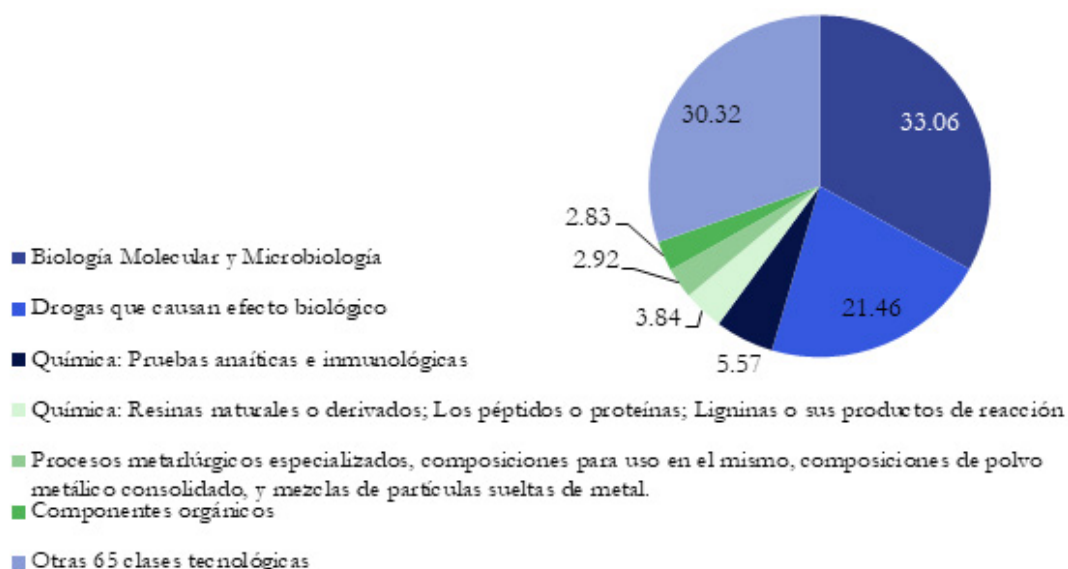
Gráfica 4. Patentes de nanotecnología y convergencia



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

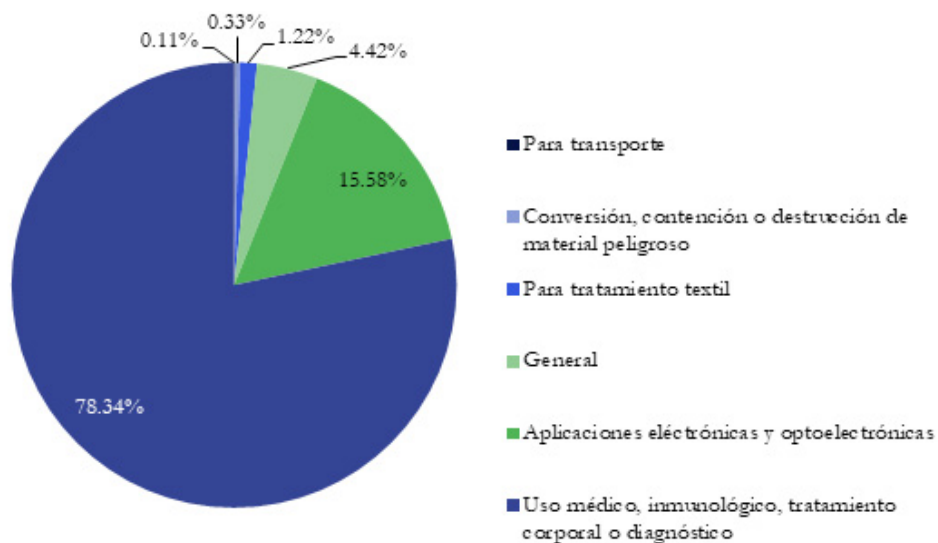
Una vez que se ha establecido la tendencia de patentamiento, se expondrán las principales características de la convergencia tecnológica entre nano y biotecnología. En total, durante todo el periodo de estudio, se han encontrado 1,113 patentes que se encuentran tanto en el sector de biotecnología como en el de nanotecnología, es decir, patentes de convergencia tecnológica como se les ha analizado aquí. De estas patentes, a 1,112 se le asignó como subclase tecnológica primaria alguna del sector biotecnológico. Una subclase primaria se asigna cuando la materia patentable tiene su principal reivindicación en dicha subclase. Esto podría significar que dichas patentes tienen principales aplicaciones en biotecnología más que nanotecnología. Al respecto destaca con 33.06% de

Gráfica 5. Clases primarias de patentes de invenciones que convergen en bio-nano (porcentajes) 1995-2015



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

Gráfica 6. Aplicaciones de convergencia bio-nano



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

las patentes corresponden a biología molecular, 21.46% corresponden a fármacos (gráfica 5). Por su parte, tomando en cuenta las subclases de nanotecnología de estas 1,112 patentes, se puede apreciar que 78 % tienen aplicaciones para uso médico, 15.58% para aplicaciones optoelectrónicas (gráfica 6).

A partir de estos datos se establece que la dirección de la relación entre los sectores bio y nanotecnológico se está desarrollando con mayor frecuencia partiendo del primero al segundo. Es decir, algunos de los desarrollos tecnológicos en biotecnología requieren conocimientos y técnicas desarrollados por el campo de la nanotecnología, por tal motivo para realizar dichos desarrollos tecnológicos cuya principal aplicación es biotecnológica (al ser su principal reivindicación), se requiere incorporar técnicas o conocimientos que se desarrollan en el otro sector. Aunque desde la perspectiva de la biotecnología dichos desarrollos tecnológicos aún son marginales respecto del total, desde la perspectiva de la nanotecnología representan un subsector de gran importancia relativa.

Cuadro 3. Principales agentes de patentes 1995-2015

Agentes	Patentes
IBM	31
University Of California	26
Nanosphere, Inc.	16
Samsung	16
Intel Corporation	13
E. I. Du Pont de Nemours and Company	12
University North Western	12
USA Secretaría de Salud	12
MIT	11
USA Naval	11
Otras 551 agentes	893
Total	1112

Fuente: elaboración propia con información de patentes para el período 1995-2015 de USPTO (2016).

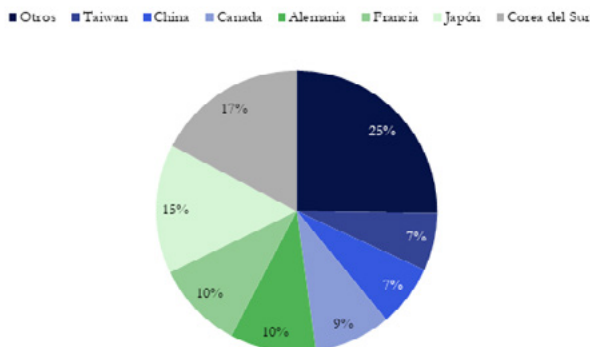
Por lo que se puede concluir que una parte importante del desarrollo actual de la nanotecnología se construye desde la biotecnología, lo cual representa un campo amplio para el futuro desarrollo de la convergencia tecnológica.

Por otra parte, se identifican los 10 agentes con mayor número de patentes de convergencia, los cuales se muestran en el cuadro 3; donde IBM es la empresa que más patentes tiene, 31 de 1,113; le sigue la Universidad de California con 26. Estos 10 agentes cuentan con 14% del total de patente de convergencia, lo que muestra poca concentración. Resalta el hecho que de las 1,113 patentes 279 son de universidades, lo que implica que gran parte de la actividad inventiva que rodea a la convergencia tecnológica entre estas dos áreas se encuentra aún en una etapa de desarrollo científico.

Si bien en términos de empresas no existe una concentración de la actividad inventiva, si existen áreas geográficas bien delimitadas donde se realizan las actividades de convergencia. En lo que respecta a la ubicación geográfica de los agentes que son dueños de las patentes (empresas, universidades e inventores independientes) 66% son de origen estadounidense. Por su parte los agentes externos a Estados Unidos se concentran en Corea del Sur y Japón (32%), en Francia y Alemania (20%), Canadá (9%) y China y Taiwan (14%) (gráfica 7).

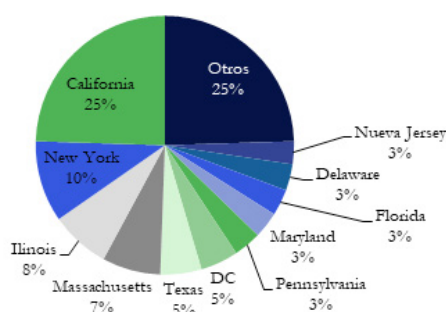
Lo que es importante destacar de estos datos es que de los agentes estadounidenses (que concentran 66% de las patentes de convergencia), 25% se encuentran en California (gráfica 8). Esta información es útil para explorar la configuración temprana de un posible clúster cognitivo y tecnológico de convergencia entre la bio y nanotecnología en dicha zona geográfica. Sin embargo, el análisis del rol de los agentes identificados en la conformación de este clúster, así como sus interacciones con otros agentes del sistema de innovación, es materia de futuros trabajos.

Gráfica 7. Origen de patentes de agentes externos a EU 1995-2015



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de USPTO (2016).

Gráfica 8. Origen de patentes de agentes de EU en convergencia



Fuente: elaboración propia con base a datos de USPTO (2016).

CONCLUSIONES

En este trabajo el proceso de convergencia tecnológica se ha definido como la interacción acumulativa y transformadora que se lleva a cabo entre distintas disciplinas, tecnologías y comunidades con el propósito de lograr compatibilidad, metas compartidas, sinergia e integración entre las mismas. Esto cobra especial relevancia en la actualidad porque la creación de valor depende cada vez más de la colaboración y de la integración de conocimiento de distintas disciplinas que resulta en procesos y productos nuevos para el mercado, para la sociedad y en términos generales, permite acceder a nuevos nichos de mercado o en ocasiones a crearlos.

Los procesos de convergencia fomentan el conoci-

miento colectivo, versus el individual y esto promueve la innovación, ya que la resolución de problemas específicos y a su vez complejos, se ve complementada por las diversas disciplinas y su convergencia.

Los sectores emergentes, son sin duda un ejemplo de convergencia porque la forma en la que se produce el conocimiento ha avanzado rápidamente hacia mecanismos donde la interacción multidisciplinaria juega un papel relevante ya que se reconoce el hecho de la complejidad de los problemas. Es bajo la premisa anterior que en este trabajo se utilizó como indicador de convergencia a las patentes y su relación entre citas y la interconexión analizada entre las clases y sub clases que comparten.

La exploración se realizó en la bio y nanotecnología, dos campos de conocimiento que en sí mismos por separado representan una alternativa de disrupción tecnológica que puede afectar el panorama económico en los próximos años. En tanto que toda revolución tecnológica representa la convergencia de diversas tecnologías ya existentes, la relación que puedan tener estos dos campos resulta crucial para el desarrollo tecnológico futuro.

Si bien las patentes no reflejan toda la actividad inventiva de una economía o un sector económico, en términos de indicadores representan una de las mejores aproximaciones para analizar la conformación y desarrollo de sectores disruptivos intensivos en conocimiento, ya que la carrera tecnológica se expresa en gran medida en el registro de nuevos descubrimientos científicos y técnicos.

Cuatro hallazgos importantes marcan esta primera aproximación presentada en este trabajo:

- Existe una baja convergencia entre ambos sectores, con las limitaciones que un análisis de patentes contiene, al sólo expresar una parte del conocimiento desarrollado en ambos sectores.
- Casi 100% de las patentes de convergencia tecnológica entre estos dos sectores tienen su principal reivindicación en la biotecnología, lo cual implica que son originalmente formuladas como proyectos para el desarrollo de productos biotecnológicos (principalmente para el sector salud) y que requieren de cierto conocimiento o técnicas desarrollados en el campo de la nanotecnología, por lo que puede afirmarse hipotéticamente que la convergencia tiene cierta direccionalidad.
- Si bien las patentes de convergencia representan

una proporción marginal en todas las patentes de biotecnología, en cambio en nanotecnología representan un porcentaje considerable. Esto implica que una proporción considerable del desarrollo futuro de la nanotecnología encuentra sus fundamentos en la biotecnología, lo cual implica que existe un subsector de convergencia “natural” entre disciplinas.

- d) Hay una concentración geográfica importante en la generación de patentes de convergencia, lo cual implica que un posible clúster tecnológico se encuentre en una etapa temprana e gestación. Estos cuatro hallazgos se convierten en hipótesis de trabajo para futuros análisis, por lo que la profundización en los mismos se incorpora en la agenda de investigación en temas de convergencia tecnológica.

Estos cuatro hallazgos se convierten en hipótesis de trabajo para futuros análisis, por lo que la profundización en los mismos se incorpora en la agenda de investigación en temas de convergencia tecnológica.

Lo anterior constata que la biotecnología es una tecnología consolidada frente a la nanotecnología, y esta última se podría considerar en fase de expansión. Esto en algún sentido justifica el hecho de que, de acuerdo a los datos presentados, para la nanotecnología es más relevante el conocimiento que proviene de la biotecnología que viceversa, de alguna manera la nanotecnología se alimenta del conocimiento que surge de la biotecnología.

Otro resultado interesante es que de las clases primarias que convergen en patentes bio-nano, la mayor concentración se ubica en el área de la biología molecular y en segundo lugar a las drogas que causan efecto biológico, esto da pistas de qué tipo de conocimiento es útil para ambas tecnologías. Tomando en cuenta las subclases de nanotecnología, se aprecia que la mayor parte de ellas se ubican en las aplicaciones de uso médico pertenecientes al área de la salud, uso inmunológico, lo cual expresa que es en dicha área donde mayor convergencia de conocimiento existe.

Analizando los agentes con mayor número de patentes se observa que IBM es la empresa que reporta mayor número de patentes con conocimiento convergente y le sigue la Universidad de California. Y si bien no es claro que haya una clara concentración, si destaca que hay una importante presencia de universidades, lo que puede ser reflejo de que gran parte de la actividad que rodea

a la convergencia proviene del desarrollo científico y no de aplicaciones tecnológicas.

Finalmente, en lo relacionado a las áreas geográficas, considerando la ubicación geográfica de los agentes que son dueños de las patentes (empresas, universidades, inventores independientes) si se puede observar una fuerte concentración en los Estados Unidos de Norteamérica, lo que los pone en el centro de desarrollo de conocimiento convergente entre la nanotecnología y la biotecnología a nivel mundial.

Si bien, los resultados aquí mostrados son aún exploratorios, permiten analizar como el conocimiento converge con otro tipo de conocimiento y tecnológicamente puede representar nuevas áreas de oportunidad. Cabe precisar que el estudio aquí presentado retoma principalmente la metodología de Jeong *et al.* (2015) haciendo adaptaciones en al menos dos sentidos, la fuente de información (aquí se usa la información de USPTO mientras que los autores referidos utilizan la información de la base coreana de patentes), así como la clasificación, ya que aquí se utiliza la combinación de la propuesta de OECD y de la misma USPTO que define las clases bio y nanotecnológicas.

Finalmente, el uso de indicadores como las patentes puede ser insuficiente para dar cuenta de la dinámica que existe en el proceso de convergencia, pero es una aproximación metodológica que se propone para comenzar a explorar dicho tema, pero se reconoce el hecho de que puede ser insuficiente para analizar un proceso complejo como la convergencia, pero como se ha mencionado previamente este es un camino en construcción.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo forma parte de los proyectos PAPIIT IN307116 “Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano” y PAPIIT IA300818 “Procesos sociales en la producción de la ciencia, tecnología y la innovación biotecnológica en México” a quienes se agradece por su apoyo.

REFERENCIAS

- Amaro, M. y Morales, A. (2016). Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: Análisis y caracterización de sus principales componentes. *Revista Redes*, 22 (42), 13-40.
- Comanor, W.S. y Scherer, F. M. (1969). Patent statistics as a measure of technical change. *Journal of Political Economy*, 77 (3), 392-98.
- Curran, C-S. y Leker, J. (2011). Patent indicators for monitoring convergence – examples from NFF and ICT. *Technological Forecasting and Social Change*, 78 (2), 256–273.
- Devlin, A. (2003). An Overview of Biotechnology Statistics in Selected Countries. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2003/13, OECD, 1-74.
- Fleming, L., King III, Ch. y Juda, A. I. (2007). Small Worlds and Regional Innovation. *Organization Science*, 18 (6), 938-954.
- Fleming, L. y Sorenson, O. (2001). Technology as a complex adaptive system: Evidence from patent data. *Research Policy*, 30, 1019-1039.
- Geum, Y., Kim, Ch., Lee, S. y Kim, M-S. (2012). Technological convergence of IT and BT: Evidence from patent analysis. *ETRI Journal*, 34 (3), 439–449.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10 (1), 92–116.
- Hall, B., Griliches, Z. y Hausman J. (1986). Patents and R and D: Is There a Lag? *International Economic Review*, 27 (2), 265-83.
- Jaffe, A. (1986). Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firms' patents, profits, and market value. *American Economic Review*, 76, 984-1001.
- Jaffe, A. y Trajtenberg M. (1998). *International Knowledge Flows: Evidence From Patent Citations*. NBER Ed. Cambridge.
- Jaffe, A., Trajtenberg, M. y Henderson R. (1992). Geographic Localization of Knowledge spillovers as evidence by patent citations. *NBER Working papers series*, 3993, 1-42.
- Jeong, S. (2014). Strategic collaboration of R&D entities for technology convergence: exploring organizational differences within the triple helix. *Journal of Management and Organization*, 20 (2), 227–249.
- Jeong, S., Kim J. Ch. y Choi J. Y. (2015). Technology convergence: What developmental stage are we in? *Scientometrics*, 104 (3), 1-31.
- Karvonen, M. y Kässi, T. (2013). Patent citations as a tool for analysing the early stages of convergence. *Technological Forecasting and Social Change*, 80, 1094–1107.
- Kintner, C. J. (1886). History of the electric art in the United States Patent Office. *Journal of the Franklin Institute*, 121, 377-396.
- Morales, M. y Villavicencio, D. (2015). Convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México. En Morales M., De Gortari R. y Stezano F. (Coords.), *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos* (pp. 139-161). México: Conacyt - Red Convergencia.
- Organization for Economic Cooperation and Development [OECD]. (2005). *Compendium of patent statistics*. París: OECD.
- Pakes, A. (1985). On patents, R&D, and the stock market rate of return. *Journal of Political Economy*, 93, 390–409.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory, *Research Policy*, 13, 343-373.
- Reyes, J. (2016). Diversidad tecnológica en el sector de baterías. *Economía Informa*, 401, 60-84.
- Roco, M., y Bainbridge W. S (2003). Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. *NSF/DOC-sponsored report*. Virginia: Science Foundation.
- Roco, M., Bainbridge, W. S., Tomn, B. y Whitesides, G. (2013). Executive Resume. En Roco, M., Bainbridge, W. S. Tonn, B. y Whitesides, G. (Coords.), *Convergence of Knowledge, Technology, and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies* (pp.7-32). Dordrecht, Heidelberg, Nueva York, Londres: Springer.
- Sanders, B. S., Rosman, J. y Harris L.J. (1958). The Economic Impact of Patents. *Trademark and Copyright Journal*, 2 (2), 340-362.



- Schmookler, J. (1979). Fuentes económicas de la actividad inventiva. En Rosenberg, N., *Economía del Cambio Tecnológico* pp.107-126. México: FCE.
- Scherer, F. M. (1965). Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patent Inventions. *American Economic Review*, 55 (5), 1097-1125.
- Sorenson, O., Rivkin, J. W. y Fleming, L. (2006). Complexity, Networks and Knowledge Flow. *Research Policy*, 2 (9), 994-1017.
- Stezano, F. (2016). Prólogo. En Federico Stezano (coord.), *Perspectivas y enfoques de la convergencia*. México: Conacyt, Lania, Red Convergencia de Conocimiento para Beneficio de la Sociedad.
- Suzuki, J. y Kodama F. (2004). Technological diversity of persistent innovators in Japan. Two case studies of large Japanese firms. *Research Policy*, 33, 531-549.
- Trajtenberg, M. (1990). A penny for you quotes: Patent Citations. *Rand Journal Economic*, 21, 172-187.
- United States Patent and Trademark Office [USPTO]. (2016). Recuperado de: <https://www.uspto.gov/patent>
- Verspagen, B. (2000). The role of large multinationals in the dutch technology infrastructure. A patent citation analysis. *Scientometrics*, 47 (2), 427-448.
- Van Beuzekom, B. (2001). *Biotechnology statistics in OECD member countries: Compendium of existing national statistics*. OECD Science, Technology and Industry W.P., 2001/06, París: OECD Publishing.

NOTAS DE AUTOR

- a. Profesor de la Facultad de Economía de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Correo electrónico: jra2405@gmail.com
- b. Profesor de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: albertoms@economia.unam.mx
- c. Investigadora del Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: marcela.amaro@sociales.unam.mx