



Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad
e-ISSN: 2007-3607
Universidad de Guadalajara
Sistema de Universidad Virtual
México
suv.paakat@redudg.udg.mx

Año 10, número 18, marzo-agosto 2020

Medir la innovación en el contexto de las tecnologías emergentes y convergentes: algunas reflexiones metodológicas

Measuring innovation in the context of emerging and converging technologies: some methodological reflections

Marcela Amaro Rosales*

<https://orcid.org/0000-0002-1647-8901>
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Eduardo Robles Belmont**

<http://orcid.org/0000-0003-3147-3700>
Universidad Nacional Autónoma de México, México

[Recibido 31/12/2018. Aceptado para su publicación 4/02/2020]
DOI: <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a10n18.415>

Resumen

Las tecnologías emergentes han sido comúnmente analizadas desde la perspectiva teórica de los sistemas de innovación. Esto ha significado partir de la premisa de que el desarrollo, uso, difusión y explotación de la tecnología son comportamientos similares a los que exhibe cualquier otro sector económico tradicional. Pero esto omite el hecho de que las tecnologías emergentes tienen particularidades que van desde las características de los actores involucrados, los derechos de propiedad, las dinámicas sociales, tecnológicas, económicas e institucionales en las que se ven insertas, hasta la propia definición metodológica del objeto de estudio. Lo anterior sin obviar las dificultades de acceso y categorización de la información, dado que en todos los casos que aquí se tratan, las tecnologías emergentes son transversales a muy distintos sectores económicos y, por tanto, su uso y aplicación se diversifica en diferentes procesos, productos y servicios. Este artículo tiene por objetivo presentar una reflexión acerca de las posibles alternativas metodológicas no exhaustivas para el estudio de las tecnologías emergentes o convergentes,

como la biotecnología, la nanotecnología, las tecnologías de la información y la genómica, entre otras, así como discutir la pertinencia de usar el marco de análisis de los sistemas de innovación, sin que esto signifique desechar su aplicación, sino más bien establecer esquemas complementarios que nos ayuden a tener una mejor comprensión de la dinámica y evolución de dichas tecnologías.

Palabras clave

Innovación, tecnologías emergentes, convergencia tecnológica, indicadores de ciencia y tecnología

Abstract

Emerging technologies have been analyzed from the innovation systems theoretical approach. This has meant starting from the premise that the development, use, dissemination and exploitation of technology are similar behaviors that exhibit any other traditional economic sector. However, this omits the fact that emerging technologies have particularities that range from the characteristics of the parties involved, the property rights, the social, technological and institutional dynamics in which they are involved; even the methodological definition of the object of study. This without forgetting the difficulties of access and categorization of information, as in all cases discussed here, emerging technologies cut across many different economic sectors and therefore its use and application diversifies into different process, products and services. This article aims to present a reflection on the possible non-exhaustive methodological alternatives for the study of emerging and/or convergent technologies, such as biotechnology, nanotechnology, information technologies and genomics, among others, as well as to discuss the relevance of using the framework for the analysis of innovation systems. Without this means discarding its application, but rather establishing complementary schemes that help us have a better understanding of the dynamics and evolution of these technologies.

Keywords

Innovation; Emerging technologies; Technological convergence; Science and technology indicators.

Introducción

En la ciencia económica el análisis industrial parte usualmente, de la presentación y recolección de variables macroeconómicas, que posteriormente se desglosan hasta llegar al estudio particular de las industrias con variables tradicionales, como valor bruto de la producción, distintos tipos de inversión, valor agregado, entre otros. Esto permite recorrer un camino metodológico ya conocido para los economistas, que pueden acceder a diversos tipos de información, como datos censales, indicadores y encuestas, las cuales les permite comparar períodos e industrias de diversas maneras.

Sin embargo, cuando se habla de sectores tecnológicos emergentes y convergentes, como la biotecnología, la nanotecnología o la genómica, se presentan diversos retos en el análisis, debido a que no existen sistemas de recolección de información definidos sobre los procesos de innovación tecnológica y organizacional, a nivel industrial o sectorial. En algunos casos, la propia caracterización de la industria o sector tecnológico implica un trabajo metodológico previo que permita identificar las variables y los métodos más apropiados para acercarse al fenómeno de estudio.

Las tecnologías emergentes y convergentes se emplean en la literatura como término para referirse al surgimiento (emergencia) y a los procesos de convergencia de nuevas tecnologías. Estas cuentan con potenciales técnicos, económicos y sociales importantes que pueden modificar sectores completos en la industria –o incluso crear nuevos sectores–, lo que también les ha valido el adjetivo de tecnologías disruptivas (Foladori e Invernizzi, 2006).

Estas tecnologías influyen en las estructuras científicas y tecnológicas al proponer nuevas técnicas, enfoques, marcos teóricos, metodológicos en la producción y validación de nuevos conocimientos. Además, en las últimas décadas hemos observado modernas dinámicas en la producción de conocimientos científicos y tecnológicos que implican, a su vez, otras formas en la circulación de conocimientos, así como diversas estructuras en la organización del trabajo científico y tecnológico. Todas estas características y particularidades en las tecnologías emergentes y convergentes requieren de enfoques novedosos para el estudio de los procesos de innovación.

Dichos enfoques demandan la vinculación de dos niveles tradicionalmente separados: la investigación de corte cuantitativo y la de corte cualitativo. Asimismo, se requiere considerar un enfoque multidisciplinario que permita la construcción de un esquema explicativo lo más completo posible. Esto, a su vez, requiere del análisis multinivel y de la discusión epistemológica sobre la definición de las preguntas de investigación.

El presente texto propone una reflexión sobre la necesidad de estrategias metodológicas, no exhaustivas ni complementarias, para construir indicadores que puedan ser usados en el análisis de la innovación en sectores tecnológicos emergentes y convergentes. Se mencionan de manera sintética distintos ejemplos de cómo pueden usarse algunos datos y de los niveles de análisis que podrían trabajarse dependiendo de la propia naturaleza del objeto de estudio.

El contenido de este artículo se presenta de la siguiente manera: en el primer apartado se retoman diversas concepciones sobre la innovación y se discute la rigidez que implica el uso de indicadores científicos, tecnológicos y de innovación propuestos por los manuales internacionales. El segundo apartado reflexiona acerca de cómo responder a las nuevas dinámicas, contextos, formas y mecanismos de gobernanza en la producción de nuevos conocimientos.

El tercer apartado presenta de manera sistemática qué son las tecnologías emergentes y convergentes, con el fin de entender lo que se explica en el cuarto apartado, donde se esboza la dificultad que implica el análisis de dichas tecnologías y, desde el enfoque de la convergencia tecnológica, se proponen algunos puntos metodológicos que pueden usarse para este tipo de análisis.

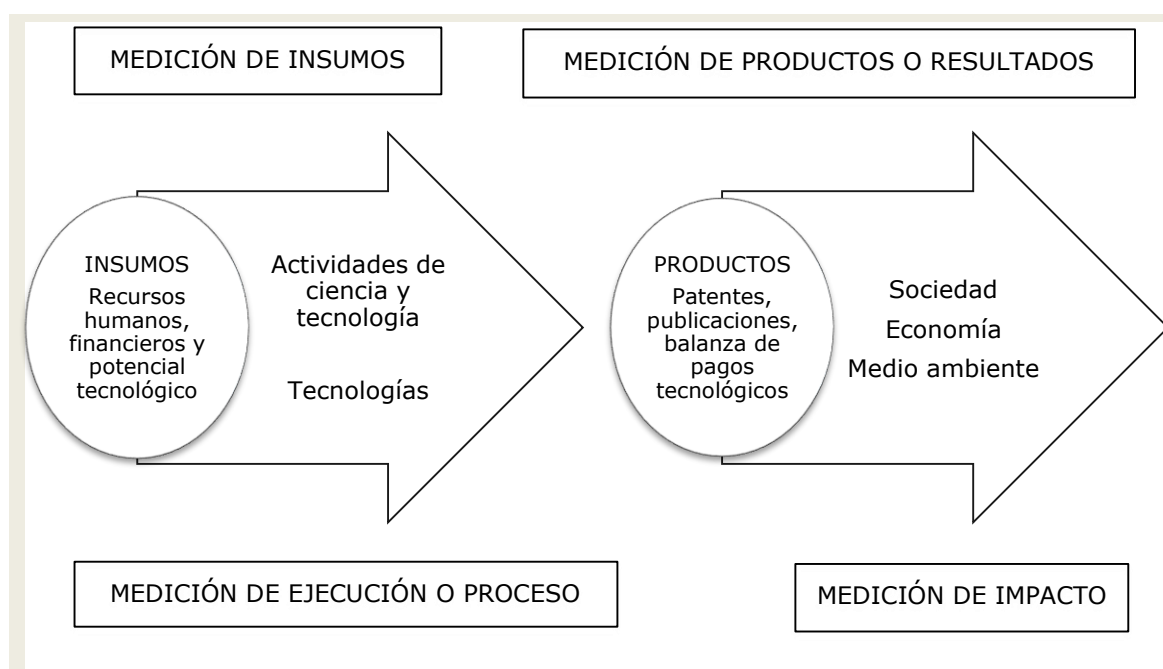
Innovación e indicadores

La ciencia, la tecnología y la innovación han sido consideradas factores determinantes para el desarrollo económico y social (CEPAL, 2001). Suponer estos tres elementos como motores del cambio y progreso ha implicado el diseño de políticas públicas que los incentiven en diversos niveles, como la formación de recursos humanos, la instalación de infraestructura y la promoción de vinculaciones, cooperaciones y emprendimientos.

En el caso de México, el diseño de políticas públicas se ha basado, sobre todo, en el uso de indicadores como insumo para la formulación de dichas políticas; con esto se ha puesto especial importancia en variables como el gasto en investigación y desarrollo experimental (GIDE), el porcentaje del producto interno bruto (PIB), el gasto federal en ciencia y tecnología (GFCyT), el personal total de investigadores dedicados a actividades científicas y tecnológicas, así como el número de artículos y patentes.

Sin embargo, estos datos agregados no permiten conocer la dinámica del propio proceso de innovación, sino *inputs* y *outputs*, por lo tanto, se desconoce qué sucede en el propio proceso. Esto es resultado de considerar a la ciencia, la tecnología y la innovación como elementos descontextualizados de su entorno y obviar su dinámica; aunque cabe destacar que existen algunas reflexiones como la de la CEPAL (2001), que proponen integrar diversas fases de medición en un esquema como el mostrado en la figura 1.

Figura 1. Fases de la medición de la ciencia, la tecnología y la innovación



Fuente: modificado de la CEPAL (2001).

Debido a lo anterior, es necesario replantear la manera en que se estudia y analiza la innovación, e incluso contextualizar el mismo concepto dependiendo de las características del fenómeno y de las particularidades históricas, sociales y económicas, entre otras.

El concepto de innovación ha sido definido desde diferentes perspectivas; Amaro y De Gortari señalan que el enfoque de la economía evolutiva define innovación "como la aplicación y el uso de nuevas ideas, conceptos, productos, servicios y prácticas, con la intención de ser útiles en el incremento de la productividad, y tiene lugar principalmente en la empresa" (Amaro y De Gortari, 2016, p. 89), por lo tanto, solo se materializa a través de la ganancia monetaria.

No obstante, esta visión es sumamente estrecha e insuficiente para analizar el proceso de innovación, ya que hay elementos como el aprendizaje, los procesos interactivos, la cooperación y la coordinación entre actores y niveles que son de suma importancia (Lundvall, 1992; Edquist y Björn, 1997; Dosi, 1994). De acuerdo con Cimoli (2000), la innovación es un proceso social que evoluciona con mayor éxito si está inserta en una red de interacciones intensivas entre oferentes y compradores de bienes, servicios, conocimiento y tecnología, así como con universidades y organismos gubernamentales que promueven la infraestructura de conocimiento.

La innovación continuamente es asociada con actividades que se desarrollan en la frontera tecnológica, por lo tanto, se le otorga un papel muy importante a lo que sucede en el proceso científico, tecnológico, de investigación y desarrollo (Mytelka, 2000); pero esto deja en segundo plano a la innovación imitativa o a la innovación incremental. Sin duda, estos elementos son importantes para los países en vías de desarrollo, ya que el proceso de innovación tiene características diferentes a la dinámica de los países desarrollados, donde las políticas nacionales, los procesos de transferencia de tecnología, el proceso organizacional, los incentivos y el establecimiento de relaciones de cooperación juegan un papel crucial para la innovación.

Además, la innovación, vista como un proceso de aprendizaje continuo, donde de forma consecutiva hay cambios organizacionales, requiere de un concepto que permita considerar a las empresas y organizaciones que aportan cambios a las cadenas de producción de bienes y servicios, sin importar si estas aportaciones no son necesariamente nuevas para sus competidores (Mytelka, 2000).

Extender el concepto de innovación lleva a pensarlo como una posible respuesta a la solución de problemas de la sociedad; aunque, desde nuestra perspectiva, lo importante es situar a la innovación no como una meta en sí misma, sino como una posible respuesta a algunos problemas de la sociedad. La resolución de problemas locales debe estar en el centro de la lógica de la

innovación (Antonelli, 2001) ya que la construcción de resultados emana de problemas de mercado, de la ciencia y la tecnología, y toman importancia al estar relacionados con alguna necesidad social.

Es necesario recordar que el contexto global define gran parte de las interacciones de unos países con otros, y que, sobre todo, existen fuerzas inevitables que determinan los parámetros de actuación de los actores nacionales involucrados en los procesos de innovación (Metcalf y Ramlogan, 2008). El proceso de innovación es complejo, por lo que resulta importante considerar distintos niveles: el mercado, la dinámica de producción de conocimiento y la transferencia de este, la producción tecnológica, las barreras a la innovación, los aspectos culturales y sociales, las políticas públicas, incluso los contextos regionales, nacionales e internacionales.

En las definiciones sobre innovación es interesante rescatar su concepción como sistema social: "Los sistemas de innovación pueden ser considerados como conjuntos de diferentes instituciones y actores sociales que, tanto por su acción individual como por sus interrelaciones, contribuyen a la creación, desarrollo y difusión de las nuevas prácticas productivas" (Albornoz, 2009, p. 14). Esto debido a que considera los procesos de innovación como no lineales, reconoce su carácter dinámico y observa las interrelaciones entre las instituciones y los actores que intervienen; además, toma en cuenta los contextos específicos donde sucede la innovación.

A partir de estas premisas, los indicadores clásicos para medir la innovación limitan nuestras capacidades comprensivas y explicativas de estos procesos. Es cierto que estos indicadores permiten evaluar los sistemas de innovación y que, al ser estandarizados y propuestos por entidades internacionales, y adoptados por entidades nacionales, se pueden hacer comparaciones. Sin embargo, como ya se mencionaba arriba, estos indicadores solo muestran una parte de los procesos de innovación y dejan de lado los nuevos elementos de las ciencias y tecnologías emergentes y convergentes. Para sobrepasar estos límites, es necesario movilizar otros elementos para dar cuenta de las dinámicas en las nuevas ciencias y tecnologías, que se encuentran en las bases de la innovación.

Nuevas dinámicas en la producción de ciencia, tecnología e innovación

En las últimas décadas, el surgimiento de nuevas ciencias y tecnologías, y la convergencia de diversas disciplinas, ha implicado modificaciones en la manera tradicional de la producción, uso y diseminación de nuevos conocimientos. Estos cambios han llamado la atención de diversos académicos en las ciencias sociales, quienes han propuesto distintos enfoques para estudiarlos, como los

sistemas de innovación, la triple hélice, la nueva producción de conocimientos (modo 1 y modo 2), por mencionar los más populares.

Para dar cuenta de las nuevas dinámicas, ha sido necesario movilizar diferentes indicadores sobre el avance científico, tecnológico y de innovación. Estos no solo conciernen a los estudios académicos, ya que diversas agencias gubernamentales, tanto nacionales como internacionales, han hecho esfuerzos al proponer metodologías para la producción de indicadores sobre ciencia, tecnología e innovación. Son los casos de los manuales de Oslo y Bogotá, que buscan la normalización en los indicadores sobre la innovación tecnológica, y cuyas propuestas de indicadores presentan límites al no considerar las nuevas formas y espacios de producción de dichos conocimientos.

Las recientes dinámicas en las ciencias y tecnologías emergentes conciernen a diferentes elementos que podemos observar en distintos niveles y dimensiones. En cuanto a los niveles, cuando observamos los contextos sociotécnicos globales, regionales, nacionales e institucionales, podemos constatar diferencias importantes en las interrelaciones entre los diversos actores presentes en los procesos científicos, tecnológicos y de innovación. En las dimensiones científicas, tecnológicas y de mercado, por su parte, observamos distintas dinámicas donde la presencia de actores y las relaciones entre estos varían.

Las configuraciones están estructuradas a partir de la presencia de actores y las relaciones que establecen en función de los contextos espaciales y temporales. Al observar de cerca las estructuras de estos procesos sociotécnicos, vemos que las acciones de los actores reflejan sus intereses y posiciones, así como la movilización e involucramiento de otros actores en la búsqueda de aplicaciones concretas del conocimiento, que puede desembocar en innovaciones.

Los estudios de nuevas ciencias y tecnologías –como las nanociencias y las nanotecnologías, la biotecnología, las ciencias cognitivas, las tecnologías de la información y las ciencias genómicas– han mostrado la importancia de buscar modernas formas de verlas en su relación con la sociedad. En la dimensión científica observamos configuraciones renovadas en la organización del trabajo científico y tecnológico, como la organización en redes científicas cada vez más multi e interdisciplinarias; esto con el objetivo de racionalizar el uso de la infraestructura científica y tecnológica, así como evitar la duplicidad, ya que el acceso a estas infraestructuras ha sido un punto central en el desarrollo de las tecnologías emergentes y en la creación de redes de colaboración científica.

En la dimensión tecnológica, el desarrollo de prototipos, de patentes y de otros objetos técnicos, ha sido el centro de debates en las comunidades científicas, y estos cada vez son más aceptados en los espacios académicos y

científicos. La transferencia de estos conocimientos tecnológicos hacia la industria ha requerido tanto de la modificación de los reglamentos que regulan las instituciones como de nuevos arreglos organizacionales.

En el desarrollo de estas nuevas tecnologías, las potencialidades técnicas, industriales y de mercado (dimensión del mercado) son cada vez más centrales en los discursos para su promoción. Igualmente, las potencialidades que se han anunciado con la emergencia de estas ciencias y tecnologías han atraído la atención de diversos actores provenientes de esferas diferentes a la academia, quienes intervienen en las distintas etapas del desarrollo de las tecnologías, que van de la definición de agendas de investigación hasta los debates sobre las regulaciones. De hecho, las nuevas ciencias y tecnologías han traído cuestionamientos sobre los aspectos éticos y sociales, así como las posibles consecuencias medioambientales.

Debido a las características de las tecnologías emergentes o convergentes, y a pesar de las dificultades metodológicas que implica, estas se han estudiado como sectores de innovación, pues son tecnologías de uso transversal en diversos sectores productivos, como el farmacéutico, el de alimentos, el agrícola, el medio ambiente, la manufactura, entre otros (Amaro y Morales, 2016; Castañeda, León, Castañeda *et al.*, 2017; Foladori *et al.*, 2017).

Una perspectiva interesante para analizar las dificultades en el estudio de las tecnologías emergentes y convergentes desde los sistemas de innovación es reconocer los arreglos de las relaciones entre los agentes y el conjunto de políticas e instituciones que influyen en la introducción de tecnologías nuevas (Dahlman *et al.*, 1993). Además, Carlsson (2006) describe el proceso de innovación como un sistema de instituciones para crear y transferir conocimientos, habilidades y artefactos en el marco del desarrollo de nuevas tecnologías.

El concepto de sistemas de innovación recoge aportaciones de concepciones previas como distritos industriales, medio innovador y regiones de aprendizaje (Doloreux, 2002). Además, retoma elementos de la discusión en la teoría económica evolutiva, la economía institucional, la nueva economía regional, la economía del aprendizaje, la economía de la innovación y la teoría de redes, elementos cruciales para el análisis de los mecanismos de aprendizaje, de producción de conocimiento, de diversos tipos de proximidad e integración social.

Para Nelson (1993) el sistema de innovación se centra en la interacción entre el sistema de producción y el proceso de innovación, que considera primordialmente el papel de los actores institucionales que tienen influencia en el proceso y en los mecanismos de soporte. Esta visión ha sido clasificada como la perspectiva institucional (Doloreux, 2002), ya que hace hincapié en las relaciones entre las empresas y el ambiente institucional, y considera que las diferentes configuraciones institucionales y los distintos roles que tienen estas

en la generación de capacidades de innovación son el factor crucial para entender el proceso.

Debido a lo anterior, la teoría económica evolutiva ha postulado que el surgimiento y el desarrollo de los procesos tecnológicos que conlleva la emergencia de innovaciones productivas y organizacionales ocurren dentro de un régimen específico de interacciones, que han denominado sistema de innovación. Aunque la empresa ocupa una posición central dentro del sistema, por ser la organización donde se producen la mayor cantidad de innovaciones, se acepta que la incidencia de otros actores colectivos es crucial para que el progreso tecnológico tenga un impacto positivo en el desarrollo económico.

Los diversos análisis sobre la configuración, estructura y desarrollo de las tecnologías emergentes o convergentes (Casalet, 2017; Roco, Bainbridge, Tonn, y Whitesides, 2013; Adeoti y Adeoti, 2005; Gittelman, 2006; Dohse, 2000; Niosi y Banik, 2005, Van der Valk *et al.*, 2009) coinciden en que hay una serie de variables –las políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación, la creación o modificación de incentivos a distintos niveles, el sistema educativo, las leyes, reglamentaciones y los derechos de propiedad, entre otros– que desempeñan papeles muy importantes en la promoción y el crecimiento de las tecnologías analizadas, lo que en algunos casos las llevó a convertirse en un importante sector económico en sus países.

La mayoría de los estudios citados retoman el marco teórico de los sistemas de innovación, por lo tanto, analizan indicadores relacionados con las capacidades científicas, como el número de estudiantes y graduados en la tecnología analizada o áreas afines, el número de investigadores, los proyectos de investigación con financiamiento público realizados en universidades o centros públicos de investigación, los artículos publicados y las redes de colaboración académicas. En la figura 2 se muestra un esquema que sintetiza el análisis tradicional de las tecnologías emergentes y convergentes desde los sistemas de innovación.

En cuanto a las capacidades tecnológicas y de innovación, es común que se retomen indicadores como el número y los tipos de empresas que producen, maquilan y usan la tecnología en cuestión, la inversión y el número de proyectos de I+D realizados por empresas y las patentes solicitadas y concedidas. Finalmente, también se retoman variables que podrían llamarse capacidades institucionales, las cuales incluyen las reglamentaciones, la legislación, los órganos reguladores y el tipo de políticas públicas.

En la mayoría de los casos no se analiza la calidad de las capacidades institucionales, sino que se parte de la hipótesis de que su existencia permite el desarrollo de otro tipo de capacidades, ya que suponen que el propio desarrollo de las tecnologías emergentes y convergentes representa oportunidades para

resolver diversos problemas científicos y tecnológicos con alto impacto en la economía y en la sociedad.

Figura 2. Esquema tradicional de análisis de las tecnologías emergentes y convergentes desde los sistemas de innovación



Fuente: elaboración propia.

¿Qué son las tecnologías emergentes y convergentes?

Como ya se mencionó, las llamadas tecnologías emergentes tienen una característica particular que implica la “convergencia” de diversas disciplinas científicas y tecnológicas. A conveniencia de este trabajo, se decidió denominarlas tecnologías convergentes por las características de multi e interdisciplina que dan forma a la manera como se construye el conocimiento, la tecnología y las soluciones que brindan. Si bien algunas de las nuevas tecnologías convergentes no son tan nuevas, ahora muestran características particulares. Por ejemplo, la diversidad de actores que intervienen, como las universidades, las empresas, los centros de investigación, la sociedad y el Estado, así como la velocidad o la finalidad en la construcción del conocimiento científico y tecnológico.

De acuerdo con Pérez (2004), hay un grupo de tecnologías que pueden considerarse como un nuevo paradigma socioeconómico a nivel mundial gracias a sus posibles características transformadoras del sistema productivo; la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la información, la robótica, las ciencias cognitivas, la inteligencia artificial y la genómica son actualmente las más representativas de este proceso. Algunas de ellas coinciden en su desprendimiento del paradigma científico-tecnológico basado en el estudio de la vida y la gran revolución que significó uno de los hechos más relevantes para la

humanidad: el descubrimiento de la secuencia del ácido desoxirribonucleico (ADN), que ha tenido impacto en el desarrollo de la biotecnología y la genómica (figura 3).

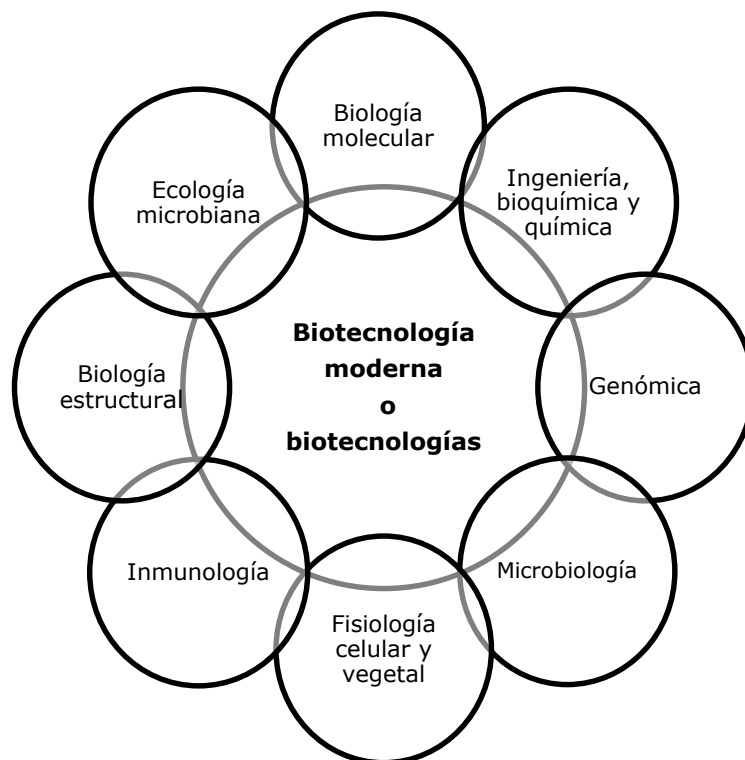


Figura 3. Convergencia disciplinaria de las biotecnologías

Fuente: elaboración propia.

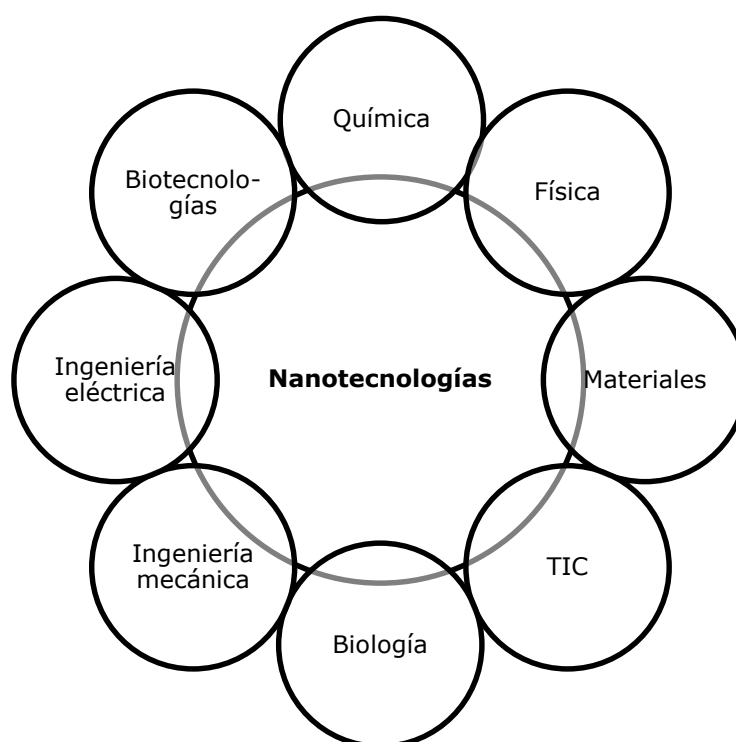
En el caso particular de la biotecnología, esta se sustenta en la convergencia científica y tecnológica de disciplinas como la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la genómica y la inmunología, entre otras. Sus características le permiten tener aplicaciones en diversos sectores, ya que hay un uso productivo de la materia viva que permite mejorar procesos y artículos, sobre todo aquellos basados en productos biológicos (OECD, 1989). En la actualidad, y desde la secuenciación del ADN, la biotecnología ha representado en muchos sentidos una revolución tecnológica que ha permeado en diversos niveles científicos y productivos, lo que ha significado un ritmo veloz en su desarrollo y una expansión en sus usos y aplicaciones.

Además de la secuenciación del ADN, otro hecho sumamente importante fue la invención del microscopio de efecto túnel y el descubrimiento del fullereno en la década de 1980, que permitió la identificación y caracterización de las nanopartículas, lo que abrió la posibilidad de desarrollar y manipular materia en escala nanométrica, nivel en que la materia tiene propiedades especiales que

no presenta en ninguna otra escala (Poole y Owens, 2007). Este descubrimiento ha tenido impacto en las tecnologías de la información, la robótica, etcétera.

De la misma forma que en la nanotecnología y la biotecnología han existido hitos que permitieron nuevas áreas de investigación y desarrollo, ocurre en la genómica y las tecnologías de la información (figura 4). Por ejemplo, la primera estudia los organismos vivos a través de la estructura de su material genético, para analizar el funcionamiento, contenido, evolución y origen de los genomas y predecir la función de los genes a partir de su secuenciación o sus interacciones con otros genes (Cevallos, 2008).

Figura 4. Convergencia disciplinaria de las nanotecnologías

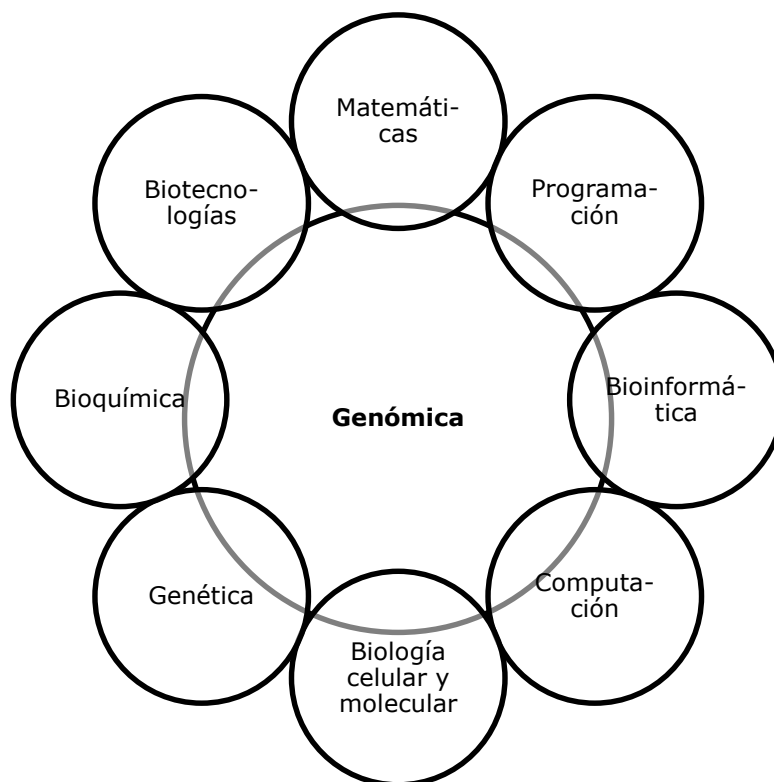


Fuente: elaboración propia.

La genómica permite identificar el riesgo genético, la predisposición que tienen los individuos para desarrollar ciertas enfermedades, y establecer medidas preventivas para evitar o retrasar su aparición (Jiménez y Silva-Zolezzi, 2003). Al igual que en la biotecnología y la nanotecnología, la genómica es una ciencia y tecnología aplicable a diversas áreas (figura 5); de hecho, para algunos especialistas no se puede hablar de una biotecnología o nanotecnología, en singular, ya que estas se componen de diversos tipos de biotecnologías o nanotecnologías. En el caso de la genómica, hay desarrollos en áreas como la nutrigenómica, la cual identifica los efectos que tiene la dieta sobre el genoma,

las proteínas y los metabolitos, para diseñar alimentos basados en el perfil genético de cada población; o la farmacogenómica, que analiza las reacciones de las personas a ciertos medicamentos y dosis, con la finalidad de diseñar fármacos más específicos, eficaces y seguros dirigidos a grupos poblacionales.

Figura 5. Convergencia disciplinaria de la genómica



Fuente: elaboración propia.

En el caso de las tecnologías de la información, en la robótica y las ciencias cognitivas también se observa una variedad de disciplinas que interactúan y contribuyen con su desarrollo científico y tecnológico. Una vez presentada la característica multidisciplinaria de las tecnologías y ejemplificado por qué se les denomina convergentes, se presenta una reflexión acerca de cómo pueden analizarse estas tecnologías.

Enfoques teóricos y metodológicos frente a las tecnologías emergentes

Las tecnologías emergentes con frecuencia son empleadas como sinónimos de las tecnologías convergentes. Sin entrar demasiado a la discusión sobre la proximidad de ambas nociones, y con el fin de concentrarnos sobre las dificultades teóricas y metodológicas que podemos encontrar en el estudio de

estas tecnologías, se seleccionó el enfoque de convergencia tecnológica por los motivos que se exponen a continuación.

La convergencia tecnológica, o tecnologías convergentes, es una noción relativamente reciente que se usa para designar a las nuevas tecnologías que presentan un alto grado de convergencia. Este sintagma ha permeado en el discurso de la política en ciencia y tecnología, y los procesos que están detrás no son evidentes de estudiar ni de dar cuenta de ellos (Miège y Vinck, 2012). Una característica de estas tecnologías, que ya ha sido mencionada, es su heterogeneidad, ya que en sus dinámicas en la producción, uso y diseminación se observa la presencia de diversas disciplinas del conocimiento y actores provenientes de distintos ámbitos (academia, universidad, gobierno, sociedad y organismos no gubernamentales).

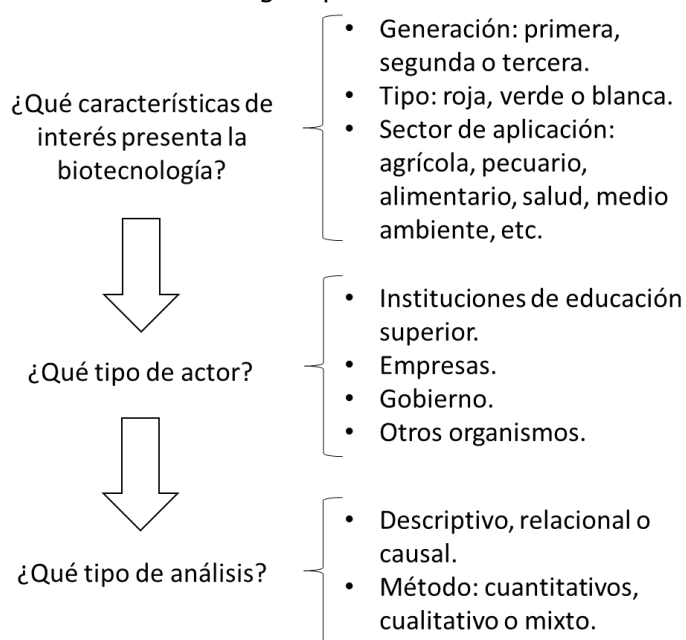
Además, la definición de tecnología convergente es bastante amplia y busca integrar la complejidad de los problemas socioeconómicos y tecnológicos que varias disciplinas enfrentan en la actualidad (Jeong, Kim y Choi, 2015). En efecto, al referirse a la convergencia tecnológica es interesante conceptualizarla como un conjunto de procesos que implican la movilización de diversas disciplinas, recursos tecnológicos, industrias y mercados. Aquí es necesario remarcar que estas tecnologías no se pueden considerar como sectores tradicionales de análisis, ya que se ven más bien como tecnologías transversales a distintos sectores. Por ejemplo, al estudiar el desarrollo de las nanotecnologías en el sector salud, se observa su convergencia con las biotecnologías, así como con otras ciencias y tecnologías emergentes.

La biotecnología tiene aplicaciones muy diversas en sectores como el de salud, agricultura, medio ambiente, alimentos, etcétera. Esta variedad de sectores de aplicación trae diversos problemas metodológicos para medir el desarrollo de esta tecnología. El primero de ellos implica definir qué es la tecnología; posteriormente, conocer la dinámica en la producción, uso y difusión –que es de suma importancia–, además de identificar los patrones de apropiabilidad y explotación, o los derechos de propiedad industrial, para identificar la estructura institucional que interesa analizar, y, finalmente, el sector de aplicación. Lo anterior no es exhaustivo ni es la única manera de organizar la investigación, que depende del nivel que se busque analizar, ya sea desde una perspectiva microanalítica, el estudio de los comportamientos y la toma de decisiones de los actores; el nivel meso, con la conformación de redes e interacciones; o el macro, que involucra acciones en la arena gubernamental nacional o de organismos internacionales.

A continuación, se muestran dos ejemplos de cómo puede focalizarse el estudio de las tecnologías convergentes; el primero es el caso de la biotecnología y el segundo, de la nanotecnología. En la figura 6 se presentan de manera sintética las distintas metodologías que pueden aplicarse, que incluyen

la definición del objeto de estudio y, por tanto, su caracterización; esto permite conocer la dinámica de la producción tecnológica particular, el tipo de sector de aplicación y si será importante conocer también el tipo de actores y la dinámica de forma combinada (tecnología y sector). En el caso del tipo de actor que es de interés, por ejemplo, puede ser relevante analizar a todos los actores, como en el caso de los sistemas de innovación, y de allí delimitar si es mejor hacerlo por regiones, sectores o a nivel nacional; o bien estudiar cada grupo por separado y ver la dinámica, las redes, las controversias, la cooperación, entre otras singularidades de los grupos de acción. Una vez definido todo ello se puede determinar el método, cualitativo o cuantitativo, y las herramientas de análisis. Usualmente, en el caso de las tecnologías convergentes no existen sistemas de información que den seguimiento en el tiempo y espacio. Es por ello que se necesita construir información, para lo que se puede usar la elaboración de encuestas, entrevistas, patentes y publicaciones.

Figura 6. Posible ruta metodológica para el estudio de la biotecnología



Fuente: elaboración propia.

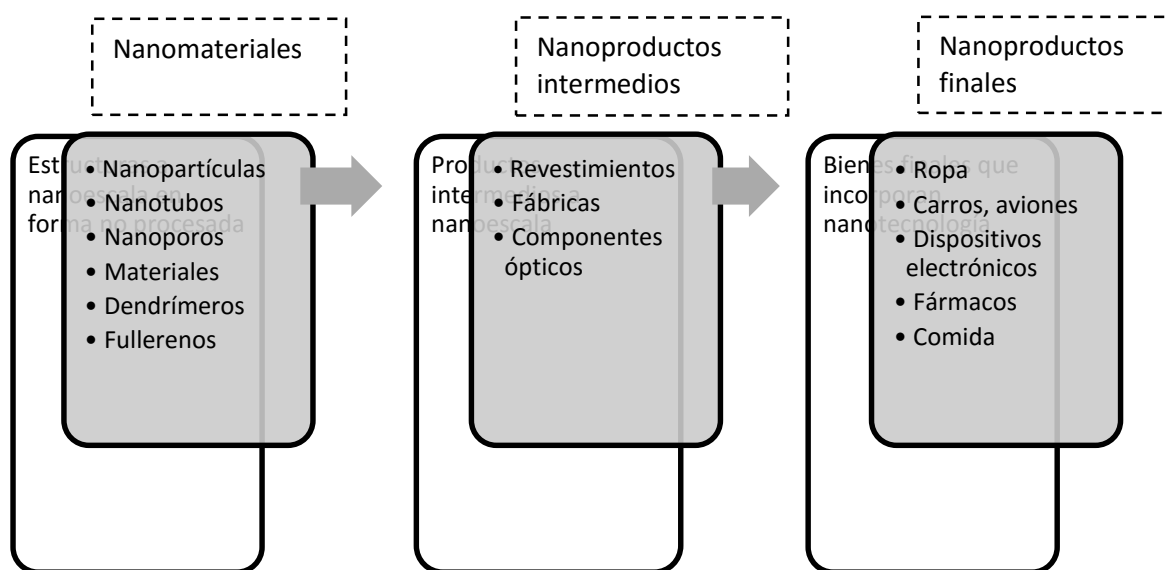
Otra opción metodológica es el análisis desde la cadena de valor. Obsérvese que lo que interesa aquí es identificar actores dominantes, relaciones y capacidad de los actores que la componen para cambiar su posición. En la figura 7 se muestra el ejemplo de las nanotecnologías desde el enfoque de análisis de la cadena de valor.

Actualmente es difícil concebir el desarrollo de una tecnología emergente aislada de otras tecnologías. Otra característica interesante de las tecnologías emergentes es que, al converger con otras tecnologías, tienen la potencialidad

de transformar sectores o industrias ya existentes, así como de crear nuevas industrias o mercados.

En este marco, Rocco y Bainbridge han publicado diversos estudios donde proponen como tecnologías convergentes a las nanotecnologías, las biotecnologías, las tecnologías de la información y la ciencia cognitiva (Roco y Bainbridge, 2002), cuyo acrónimo es NBIC. Todas estas tecnologías igualmente han sido calificadas de emergentes.

Figura 7. Análisis de la nanotecnología a través de la cadena de valor



Fuente: adaptado de Holman, 2007; Lux Research, 2004 y Foladori *et al.*, 2016.

Asimismo, el desarrollo de las tecnologías convergentes ha traído una serie de implicaciones sociales, económicas, éticas, entre otras, que han sido objeto de debates y de resaltar la necesidad de tener esquemas de regulación y de gobernanza (Bainbridge y Roco, 2016; Invernizzi *et al.*, 2015; Roco, 2008; Roco, Bainbridge, Tonn, y Whitesides, 2013). Estos trabajos que han discutido la promoción de la convergencia tecnológica de las NBIC pueden ser considerados como un punto de referencia de los estudios sobre las tecnologías convergentes; estudios que por cierto han presentado la convergencia como un proceso necesario e irreversible que está ocurriendo desde los laboratorios científicos hasta las industrias y los mercados.

De acuerdo con la propuesta de Roco (2007), la convergencia tecnológica implicaría un nivel de análisis superior donde interactúan diversas tecnologías a su vez convergentes. El contexto donde se desarrollan estas tecnologías

igualmente tiene un lugar importante en estos estudios. Las trayectorias sociales, económicas, industriales y culturales juegan roles centrales en la creación de contextos favorables para que estos procesos puedan suceder. Esto puede crear asimetrías en el desarrollo de las convergencias, ya que no todos los países y regiones cuentan con entornos favorables.

Sin embargo, la adecuada formulación de políticas en ciencia y tecnología, así como su relación con otras políticas, pueden favorecer y propiciar el cambio de contextos para el desarrollo de tecnologías emergentes. Esto implica, por supuesto, diversos ejercicios de mapeo y evaluación de capacidades y necesidades locales para el desarrollo de tecnologías emergentes. Además, es importante considerar las capacidades y necesidades globales, ya que la relación local-global ha sido igualmente señalada como una de las características del desarrollo de las tecnologías emergentes (Pérez-Martelo y Vinck, 2009).

Hasta aquí se ha señalado la heterogeneidad y la movilidad de recursos y actores, las nuevas dinámicas que requieren esquemas modernos de regulación y de gobernanza, así como la complejidad de los problemas que enfrentan las tecnologías emergentes. De las nuevas configuraciones que se observan en las relaciones sociotécnicas y de las dinámicas en los cambios que estas tecnologías presentan, así como la transversalidad de las NBIC en diversos sectores, niveles y dimensiones, surgen diversas preguntas en torno a la dificultad teórica y metodológica para estudiar y dar cuenta de estos procesos sociotécnicos. Una alternativa interesante para estudiar estas nuevas tecnologías es el enfoque de sistemas complejos, ya que las características señaladas líneas arriba se encuentran igualmente en este enfoque desde las ciencias sociales.

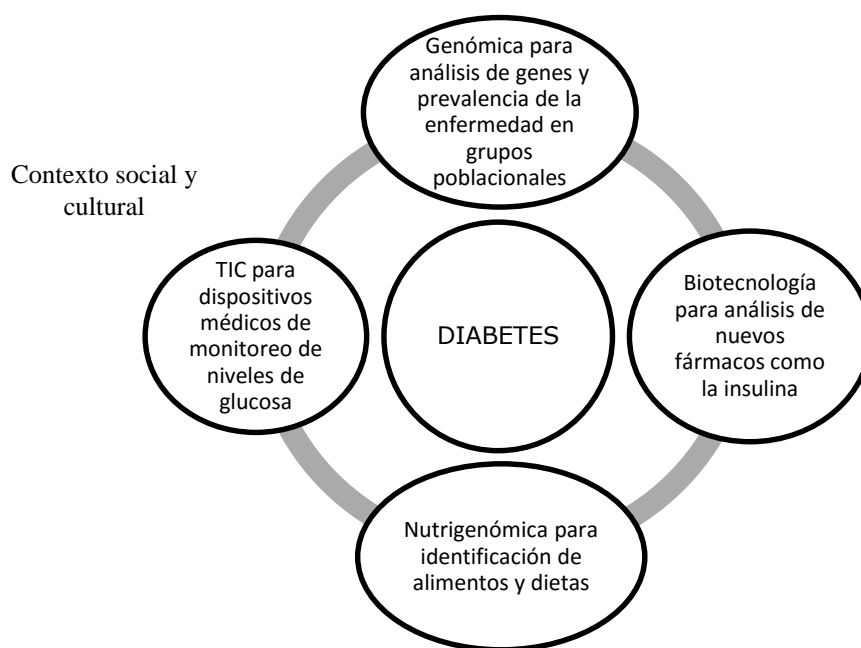
Analizar las tecnologías emergentes y sobrepasar los límites que presentan los esquemas clásicos de indicadores sobre ciencia y tecnología mencionados en los apartados anteriores, requiere de metodologías *ad hoc* que permitan cernir las particularidades de los contextos y de las tecnologías en estudio. Además, hay que recordar el carácter dinámico de estas tecnologías, ya que cada vez es más frecuente la preocupación de analizar y calificar el desarrollo de las tecnologías emergentes mientras este sucede. En la tarea de medir y evaluar las convergencias tecnológicas, se han hecho propuestas desde los estudios bibliométricos y cienciométricos (Robles-Belmont y Siqueiros-García, 2017).

Esta propuesta es interesante, ya que la perspectiva del enfoque de análisis de redes y el análisis dinámico de estas (ambos cercanos al enfoque de sistemas complejos) muestran las estructuras cognitivas y sociales de las convergencias desde la dimensión científica, así como el cambio de estas estructuras en el tiempo. Sin embargo, desde el enfoque de redes la mayoría de estos estudios solo abarcan la dimensión científica, y quedan pendientes las

dimensiones tecnológicas y de mercado, que en efecto pueden ser estudiadas con este tipo de enfoques usando las patentes y datos sobre mercados, incluso si aún sigue habiendo retos para la obtención de este tipo de información.

Finalmente, es ampliamente reconocida la necesidad de efectuar enfoques cualitativos que permitan dar cuenta de los contenidos sociotécnicos de las dinámicas en las estructuras cognitivas y sociales que presentan los estudios basados en el análisis de redes. Para ello existen diversas herramientas y enfoques metodológicos en las ciencias sociales que pueden hacer aportes para el análisis de las tecnologías emergentes. La teoría del actor-red, la etnografía de laboratorio, el enfoque de los escenarios sociotécnicos y la evaluación constructiva de la tecnología (*Constructive Technology Assessment*) son algunas de estas herramientas y enfoques.

Figura 8. Ruta metodológica para medir la convergencia basada en un problema determinado



Fuente: elaboración propia.

Hasta aquí se ha explicado el término de convergencia considerando que cada tecnología en sí misma representa un sistema de interrelaciones de actores y disciplinas; sin embargo, también se puede plantear un esquema metodológico donde se considere que, a partir de la complejidad de los problemas que se enfrentan, es necesario recurrir a un esquema de convergencia. Si se retoma la propuesta de innovación como un proceso de resolución de problemas, la convergencia puede darse a partir de la especificidad del objeto de análisis. Al tomar la problemática de la diabetes y

verla como un problema complejo, por ejemplo, podemos pensar en la ruta metodológica descrita en la figura 8. En este esquema mostramos que en el abordaje del problema de la diabetes se requiere de la convergencia científica y tecnológica, sin olvidar que se encuentra inserta en un entramado social y cultural.

Conclusiones

Este artículo presenta elementos en torno a la construcción de indicadores para la innovación en nuevas ciencias y tecnologías. La reflexión se ha centrado en algunos límites en el marco del concepto de innovación, por un lado, y en la naturaleza de las ciencias y tecnologías emergentes y convergentes, por el otro.

Los indicadores para medir la innovación se han enfocado en los insumos y resultados de las actividades científicas y tecnológicas, y en la estandarización de estos indicadores que ha permitido su uso para la comparación en diferentes niveles. Estos indicadores responden al concepto económico de la innovación, el cual se enfoca principalmente en la empresa. La revisión de *innovación* efectuada en este texto constata que los estudios sobre este concepto han avanzado reconociendo la diversidad de dinámicas que ocurren en los procesos sociotécnicos, tanto en la industria como en el gobierno y la academia. Sin embargo, las propuestas metodológicas de indicadores parecen no haber seguido estos avances, y actualmente encuentran varios límites al evaluar las innovaciones en el desarrollo de las tecnologías emergentes y convergentes.

En los estudios sobre las tecnologías emergentes y convergentes, como las nanotecnologías, las biotecnologías y las ciencias genómicas, se ha señalado la importancia de considerar las particularidades de estas tecnologías, así como los contextos donde son desarrolladas, usadas y reproducidas. Esto se refleja en los esquemas mostrados en este trabajo sobre las posibles rutas de investigación de estas tecnologías emergentes y convergentes, que van desde la definición del objeto de estudio, el análisis de la cadena de valor o bien la identificación de un problema complejo en donde intervienen distintas tecnologías. Los esquemas presentados no son únicos, sino que son solo ejemplos de cómo se podría operacionalizar una ruta metodológica; esto no implica una receta sino una propuesta para que en el marco de cada objeto de estudio sea modificada o adaptada.

Por último, es pertinente resaltar la necesidad de reflexionar de forma constante sobre la pertinencia de las metodologías empleadas para los indicadores de innovación, sobre todo cuando se trata de tecnologías emergentes y convergentes. De hecho, además de la importancia de tener presentes los conceptos de emergencia y convergencia, así como el de innovación, en los estudios sobre nuevas tecnologías es necesario establecer

metodologías mixtas que permitan identificar y, si es posible, cuantificar, los diferentes elementos y factores presentes en el desarrollo de estas tecnologías.

Agradecimientos

El presente artículo fue discutido y realizado en el marco de las actividades del proyecto DGAPA PAPIIT UNAM IA300818 "Procesos sociales en la producción de la ciencia, la tecnología y la innovación biotecnológica en México".

Referencias

- Adeoti, J., & Adeoti, A. (2005). Biotechnology R&D partnership for industrial innovation in Nigeria. *Technovation*, 25(4), 349-365.
- Albornoz, M. (2009). Indicadores de innovación: las dificultades de un concepto en evolución. *Revista CTS*, 5(13), 9-25.
- Amaro, M. y Morales, M. A. (2016). Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales. *Redes*, 22(42), 13-40.
- Amaro, M. y De Gortari, R. (2016). Innovación inclusiva en el sector agrícola mexicano: los productores de café en Veracruz. *Economía Informa*, 400, 86-104. <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.09.006>
- Antonelli, C. (2001). *The microeconomics of technological systems*. USA: Oxford University Press.
- Bainbridge, W. S. & Roco, M. C. (2016). *Handbook of Science and Technology Convergence*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07052-0>
- Carlsson, B. (2006). Internationalization of innovation systems: a survey of the literature. *Research Policy* 35(1), 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.08.003>
- Casalet, M. (2017). El paradigma de la convergencia del conocimiento: alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario. México: FLACSO.
- Castañeda, R., León, S., Robles-Belmont, E., & Záyago, E. (2017). Review of nanotechnology value chain for water treatment applications in Mexico. *Resource-Efficient Technologies*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.01.008>
- CEPAL, N. (2001). Estadísticas e indicadores de ciencia, tecnología e innovación en América Latina y El Caribe. Santiago de Chile Documento de apoyo para participantes.
- Cevallos, M. A. (2008). La contribución de las ciencias genómicas al estudio de la vida. *Mensaje Bioquímico*, vol. XXXII. UNAM. ISSN-0188-137X.
- Cimoli, M. (2000). *Developing innovation system: Mexico in the global context*. New York, United States of America: Continuum-Pinter Publishers.
- Dahlman, C., Frischtak, C. & Nelson, R. (1993). *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*. National innovation systems: a comparative analysis.
- Dohse, D. (2000). Technology policy and the regions—the case of the BioRegio contest. *Research Policy*, 29(9), 1111-1133.
- Doloreux, D. (2002). What we should know about regional systems of innovation. *Technol. Soc.*, 24(3), 243-263. DOI: 10.1016/S0160-791X(02)00007-6
- Dosi, G. (1994). A Very Reasonable Objective Still Beyond Our Reach: Economics as an Empirically Disciplined Social Science, en Augier y March (eds.) *Models of a Man, Essays in memory of Herbert A. Simon*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Edquist, Ch. y Björn, J. (1997) Institutions and Organizations in Systems of Innovation. En: Charles Edquist (ed.) Systems of Innovation: Technology, Institutions and Organizations. Londres y Washington: Printer, pp. 41-63
- Foladori, G. e Invernizzi, N. (2006). Nanotecnologías disruptivas. Implicaciones sociales de las nanotecnologías. Ciudad de México: MA Porrúa, Universidad Autónoma de Zacatecas y H. Cámara de Diputados.
- Foladori, G., Figueroa, E., Robles-Belmont, E., Zayago, E. y Appelbaum R. (2016). Cadena de valor de las nanotecnologías en México. Revista Digital Universitaria. 17(4). ISSN 1607-6079. Recuperado de: <http://www.revista.unam.mx/vol.17/num4/art31>
- Foladori, G., Lau, E. Z., Carroza, T., Appelbaum, R. P., Villa, L. & Robles-Belmont, E. (2017). Sectorial analysis of nanotechnology companies in Argentina. Journal of Nanoparticle Research, 19(6). <https://doi.org/10.1007/s11051-017-3864-0>
- Gittelman, M. (2006). National institutions, public-private knowledge flows, and innovation performance: A comparative study of the biotechnology industry in the US and France. Research Policy, 35(7), 1052-1068.
- Holman, M. (2007). "Nanotechnology's Impact on Consumer Products". European Union: Lux Research. Recuperado de: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/documents/ev_20071025_co03_en.pdf
- Hsu, Y. G., Shyu, J. Z. y Tzeng, G. H. (2005). Policy tools on the formation of new biotechnology firms in Taiwan. Technovation, 25(3), 281-292.
- Invernizzi, N., Foladori, G., Robles-Belmont, E., Záyago Lau, E., Figueroa, E. A., Bagattolli, C. y Urquijo, W. (2015). Nanotechnology for social needs: contributions from Latin American research in the areas of health, energy and water. Journal of Nanoparticle Research, 17(5), 233. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-3037-y>
- Jiménez, G. y Silva-Zolezzi, I. (2003). La medicina genómica: una nueva era en el cuidado de la salud. En G. Soberón (coord.) Fronteras de la biología en los inicios del siglo XXI. Módulo 4. México: El Colegio Nacional.
- Jeong, S., Kim, J. C. y Choi, J. Y. (2015). Technology convergence: What developmental stage are we in? Scientometrics, 104(3), 841-871. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1606-6>
- Lundvall, B. A. (1992). National innovation system: towards a theory of innovation and interactive learning. London: Pinter Publisher.
- Lux Research, Sizing nanotechnology's value chain, 2004. Recuperado de: https://portal.luxresearchinc.com/research/report_excerpt/2650
- Metcalfe, S., y Ramlogan, R. (2008). Innovation systems and the competitive process in developing economies. The Quarterly Review of Economics and Finance, 48(2), 433-446.
- Miège, B. y Vinck, D. (2012). Les masques de la convergence. Enquêtes sur sciences, industries et aménagements. (B. Miège & D. Vinck, eds.). Paris: Éditions des Archives Contemporaines.
- Mytelka, L. (2000). Local systems of innovation in a globalized world economy. Industry and Innovation 7(1), 15-32. <https://doi.org/10.1080/713670244>
- Nelson, R. (1993). National Innovation Systems: a comparative analysis. New York, United States of America: Oxford University Press.
- Niosi, J. y Banik, M. (2005). The evolution and performance of biotechnology regional systems of innovation. Cambridge Journal of Economics, 29(3), 343-357.
- OECD. (1989). Biotechnology, economic and wider impacts. París. Organization for Economic Cooperation and Development.

- Pérez, C. (2004). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. España: Siglo XXI.
- Pérez-Martelo, C. B. y Vinck, D. (2009). Redes sociotécnicas de coestión de conocimiento en nanotecnologías en Colombia: ¿entre la visibilidad internacional y la apropiación local? *REDES*, 15(29), 113-137.
- Poole, C. P. y Owens, F. J. (2007). *Introducción a la nanotecnología*. Barcelona: Reverté.
- Robles-Belmont, E. y Siqueiros-García, J. M. (2017). Estructura de la convergencia disciplinar en el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías en México Eduardo. En XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. ALTEC 2017). Ciudad de México, 1-9.
- Roco, M. C. (2008). Possibilities for global governance of converging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(1), 11-29. <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9269-8>
- Roco, M. C. y Bainbridge, W. S. (2002). Converging Technologies for Improving Human Performance. *Journal of Nanoparticle Research*, 4(2), 281-295. <https://doi.org/10.1023/A:1021152023349>
- Roco, M. C., Bainbridge, W. S., Tonn, B. y Whitesides, G. (2013). *Convergence of Knowledge, Technology, and Society : Beyond Convergence of Summary of the International Report*.
- Van der Valk, T., Moors, E. H. y Meeus, M. T. (2009). Conceptualizing patterns in the dynamics of emerging technologies: The case of biotechnology developments in the Netherlands. *Technovation*, 29(4), 247-264.

Este artículo es de acceso abierto. Los usuarios pueden leer, descargar, distribuir, imprimir y enlazar al texto completo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Robles Belmont, E. y Amaro Rosales, M. (2020). Medir la innovación en el contexto de las tecnologías emergentes y convergentes: algunas reflexiones metodológicas. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(18). <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a10n18.415>

* Investigadora del Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1647-8901> Correo electrónico: marcela.amaro@sociales.unam.mx

** Investigador del Departamento de Modelación Matemática de Sistemas Sociales del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3147-3700>. Correo electrónico: roblesbelmont@yahoo.fr