

## **Estructura de la convergencia disciplinar en el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías en México**

Eduardo Robles Belmont

Universidad Nacional Autónoma de México, IIMAS, DMMSS, Laboratorio de Redes, Apdo.  
Postal 20-126, 04510 Cd. de México, México

Jesús Mario Siqueiros García

Universidad Nacional Autónoma de México, IIMAS, DMMSS, Laboratorio de Redes, Apdo.  
Postal 20-126, 04510 Cd. de México, México

### **RESUMEN**

El presente trabajo analiza datos sobre las categorías de clasificación de la ciencia y la tecnología y su uso para mapear la estructura de la convergencia disciplinar. El objeto de estudio son las nanociencias y nanotecnologías en México. Exploramos diversas herramientas informáticas de acceso abierto para caracterizar la estructura de la convergencia en este campo emergente. Los resultados nos muestran el perfil de este campo, así como la dinámica de la convergencia. Igualmente, los resultados abren nuevas preguntas sobre qué métricas del análisis de redes sociales pueden ser empleadas para analizar y medir la convergencia disciplinar.

**Palabras clave:** Convergencia tecnológica; Nanociencias y nanotecnologías; Visualización; México.

### **1. Introducción**

En los estudios sociales de ciencia, tecnología e innovación la noción de *convergencia* es reciente y ha cobrado un lugar central en el discurso de la política en ciencia y tecnología (Miège y Vinck, 2012). Incluso, la noción de *convergencia* ha sido usada como un recurso retórico para promover el desarrollo de nuevas tecnologías emergentes (Schummer, 2010). El significado que se ha puesto detrás de esta noción es bastante amplio para intentar abarcar la complejidad de los problemas socio-económicos y tecnológicos que enfrentan actualmente las diversas disciplinas en la ciencia y la tecnología, cuyo proceso implica la movilización de diversas disciplinas, tecnologías, industrias y mercados (Jeong, Kim, & Choi, 2015).

En el área de los indicadores y la evaluación de la ciencia y la tecnología, el tema de la convergencia ha tomado una particular importancia. Diversos trabajos se han centrado en

propuestas de metodologías para el desarrollo de indicadores de la convergencia en diferentes sectores (Suh & Sohn, 2015). Los datos de entrada han sido principalmente las patentes (Gauch & Blind, 2015) y se han analizado con el enfoque del análisis de redes (Cho & Kim, 2014). Estos trabajos se insertan en el área de la cienciometría, donde ha cobrado popularidad el uso de herramientas computacionales para la obtención, el tratamiento y el análisis de datos. De hecho, en la literatura podemos encontrar diversos trabajos centrados en la visualización de mapas de la ciencia desde diversas entradas y métodos (Bornmann, Leydesdorff, Walch-solimena, & Ettl, 2011; Leydesdorff & Persson, 2010; Leydesdorff & Rafols, 2009; Porter & Rafols, 2009; Waltman, van Eck, & Noyons, 2010).

Las nanociencias y nanotecnologías son un objeto de estudio interesante de observar en el marco de los estudios sobre la convergencia de nuevas tecnologías. Esto ya que, dentro del discurso para la promoción de estas ciencias y tecnologías emergentes, la noción de convergencia ha sido movilizada ampliamente. Mihail Rocco con otros colaboradores en diversos reportes de la Iniciativa Nacional para las Nanotecnologías de Estados Unidos, así como en publicaciones científicas, han señalado la necesidad de la convergencia de disciplinas emergentes para la solución de problemas sociales. En estos textos la convergencia es presentada como un proceso inevitable y necesario para el desarrollo de las nuevas tecnologías. No obstante, la convergencia no es fácil de llevar a cabo en las formas de trabajar en el contexto de las nuevas tecnologías (Vinck & Robles-Belmont, 2012). Este trabajo se centra sobre el tema de indicadores que nos permitan caracterizar la convergencia científica y tecnológica. La pregunta central es si la convergencia disciplinar puede ser visualizada a partir de datos bibliométricos, esto con el fin de tener indicadores sobre la convergencia de disciplinas en un campo emergente. Para explorar esta pregunta, el presente estudio se basa en el análisis de la estructura disciplinar del campo de las nanociencias y nanotecnologías en México empleando diversas herramientas informáticas para el análisis y visualización de datos. Los resultados expuestos nos permiten señalar algunos límites y algunas ventajas del uso de estas herramientas.

## **2. Metodología**

El enfoque empleado en este estudio se basa en técnicas de la bibliometría y la cienciometría, así como en el análisis de redes. Los datos empleados conciernen a la producción de artículos en el campo de estas ciencias y tecnologías emergentes en México, cuya base de datos ha sido constituida a partir de la consulta de la Web of Science (WoS) empleando la estrategia de búsqueda propuesta por Robles-Belmont & Vinck (2011). Únicamente se consideran los artículos científicos publicados hasta el año 2015, esto por tratarse de conocimientos científicos certificado y hasta este año la cola de indización es menor.

La base de datos de estas publicaciones científicas está constituida por un total de 15915 artículos publicados hasta el año 2015 en revistas indizadas por la WoS. El dato bibliográfico empleado en este estudio es la categoría de la WoS para las áreas del conocimiento donde han sido indizadas las revistas científicas. Es importante señalar que la clasificación del conocimiento empleado por la WoS se basa en 249 categorías diferentes y una revista puede ser indizada en más de una categoría. Los artículos publicados en revistas indizadas en más de una categoría nos proporcionan un dato relacional, el cual podemos someter a un análisis de redes y la visualización resultante es interpretada como un mapa de la ciencia en términos de las disciplinas del conocimiento presentes en el desarrollo de un conocimiento nuevo. Los 15915 artículos identificados en el campo emergente de las nanociencias y nanotecnologías han sido clasificados en 186 categorías diferentes.

Finalmente, el análisis de los datos y su visualización se ha efectuado con los programas informáticos UCINET, Pajek, VosViewer y MapEquation. Con UCINET se han creado los archivos de las redes a partir de matrices cuadradas sobre las relaciones entre las diferentes categorías de áreas del conocimiento de la WoS. Con Pajek se han eliminado los bucles (loops), se ha efectuado una partición por componentes y se ha graficado las redes cuya distribución ha sido hecha con el algoritmo de Kamada-Kawai. Finalmente, con VosViewer se han hechos las visualizaciones de las redes y con MapEquation se ha efectuado la gráfica aluvial con el fin de visualizar la dinámica de las redes a través del tiempo.

### **3. Resultados**

Antes de presentar los resultados de este estudio es necesario hacer algunos señalamientos en torno a la forma como abordamos la convergencia en este trabajo. Este trabajo se inscribe en los estudios sociales sobre la convergencia tecnológica y científica, cuyas definiciones que podemos encontrar en la literatura académica se refieren a la convergencia como el punto de encuentro de dos o más tecnologías o áreas científicas en el desarrollo de conocimientos y aplicaciones en común. La convergencia tecnológica, científica y disciplinar es un tema que ha llamado la atención de diversos académicos que la abordan desde diversas perspectivas y dimensiones. En este trabajo no discutimos ampliamente la noción de convergencia en estos estudios, ya que nuestro objetivo es explorar la visualización y el análisis de datos para producir indicadores sobre el estado de la convergencia disciplinar en la producción científica y tecnológica. Actualmente existen diversas herramientas de fácil acceso para el análisis de datos y su visualización, aunque con frecuencia hay vacíos en torno al funcionamiento de estas herramientas. En este trabajo nos hemos centrado en analizar las disciplinas presentes en la producción de nuevos conocimientos. Partiendo de datos bibliométricos sobre el campo emergente de las nanociencias y nanotecnologías presentamos dos visualizaciones que encontramos interesantes de observar y que pensamos son útiles para la generación de indicadores sobre la convergencia científica y tecnológica.

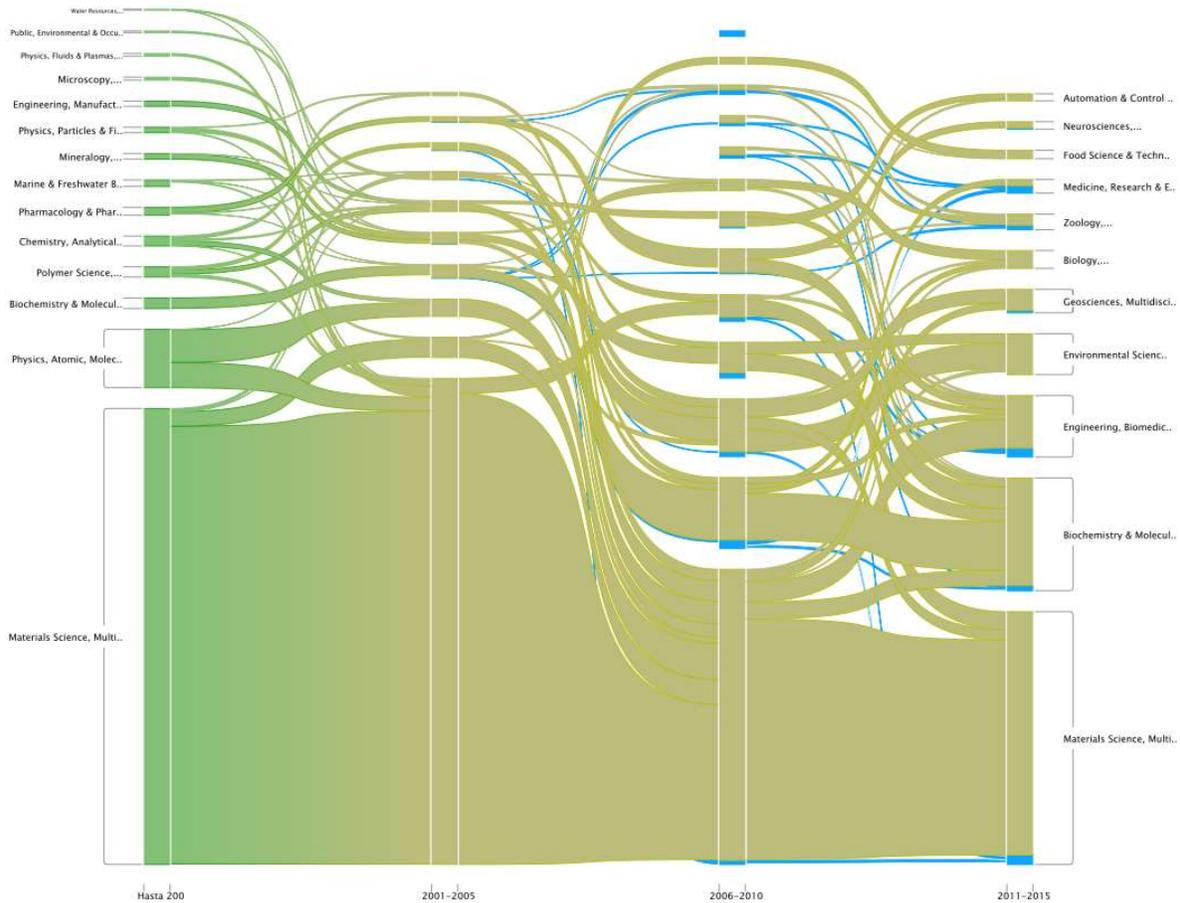
La primera visualización que hemos efectuado busca generar una imagen del perfil de la estructura de las nanociencias y nanotecnologías, así como de las relaciones entre las diferentes áreas del conocimiento. Este perfil se muestra en la Imagen 1, donde cada nodo de las redes representa una de las 186 categorías del conocimiento y los arcos representan las relaciones entre las categorías. Esta visualización confirma que la Ciencia de Materiales continúa siendo el área más representativa en el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías en México. También podemos observar que diversas áreas de la física y de la química también mantienen su presencia en este campo emergente. En menor medida, áreas de las ciencias biológicas, así como áreas de las ciencias de la salud podemos observar en la visualización. Además, cabe mencionar que no todas las categorías están conectadas. La visualización consta de un total de 9 componentes (2 redes y 7 nodos aislados). Estos nodos aislados y las redes más pequeñas pueden ser traducidas como áreas o disciplinas emergentes en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en este país y como trabajos puntuales sin que impliquen necesariamente aportes significativos.



en estudio, así como sus relaciones, pero poco nos dice sobre cómo se ha ido conformando este campo a través del tiempo. Para sobre pasar este límite nos apoyamos en la metodología de MapEquation de Rosvall & Bergstrom (2010) que permite mapear el cambio presentado a través del tiempo en redes. En resumen, esta metodología y herramienta nos ayudan a visualizar y comparar fácilmente la evolución de redes sociales a través del tiempo. Entonces, para el caso de las nanociencias y nanotecnologías en México hemos dividido el total de las publicaciones en cuatro periodos; el primero abarca hasta el año 2000 y los otros tres en periodos de cinco años cada uno.

Los resultados de este ejercicio se muestran en la Imagen 2. En la gráfica mostrada en esta imagen podemos ver los cambios de las relaciones entre las principales categorías WoS hasta el año 2015. Por un lado, podemos apreciar los cambios importantes de la presencia de las áreas del conocimiento. Por ejemplo, la ciencia de materiales ha disminuido su presencia al pasar del 77% en el primer periodo al 43% en el último periodo. Otro cambio que sobresale es el presentado por la bioquímica y biología molecular que pasa del 1.8% al 19%. Por otro lado, otro punto interesante que nos muestra esta visualización son las áreas emergentes en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México, y su relación con las demás áreas.

Imagen 2. Evolución de la estructura de la convergencia disciplinar en el campo de las nanociencias y nanotecnologías en México hasta el año 2015.



Fuente: Realización propia con datos de la Web of Science.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo hemos explorado algunas herramientas y métodos del análisis y visualización de redes sociales para la caracterización de la estructura de la convergencia de las nanociencias y nanotecnologías en México. Los datos de entrada han sido las áreas o disciplinas del conocimiento empleadas por la WoS para indizar las revistas donde son publicados los artículos científicos. Los resultados son mapas de la ciencia que nos muestran la estructura del campo científico en estudio desde una perspectiva de las disciplinas. El elemento relacional que podemos visualizar a través del análisis de redes sociales nos permite obtener una imagen que puede ser traducida como un reflejo de la convergencia disciplinar en el desarrollo de las nanociencia y las nanotecnologías en México.

Además de poder visualizar la estructura de la convergencia (Imagen 1), las herramientas empleadas nos permiten generar visualizaciones sobre las dinámicas de la convergencia disciplinar. Estas visualizaciones son interesantes de usar ya que nos permiten ver la evolución de la convergencia e identificar nuevas tendencias. En este estudio hemos empleado datos sobre las disciplinas en el desarrollo de un campo en específico (nanociencias y nanotecnologías), cuyos resultados son interesante de observar para responder ciertas preguntas de investigación, así como formular otras nuevas preguntas. No obstante, las posibilidades de analizar otros tipos de datos con estas herramientas (como pueden ser otros datos de los artículos científicos, de patentes, de proyectos y de redes sociales, entre otros) pueden nutrir los estudios sobre el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías.

Finalmente, con este trabajo hemos explorado la visualización de la convergencia. Sin embargo, surgen cuestiones sobre si es posible aplicar algunas métricas del enfoque de análisis de redes sociales que nos permitan medir la convergencia a partir de la estructura de las redes empleadas para la visualización de datos.

### Agradecimiento

Esta investigación fue apoyada por el proyecto IA300916 del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM.

### REFERENCIAS

- Bornmann, L., Leydesdorff, L., Walch-solimena, C., & Ettl, C. (2011). Mapping excellence in the geography of science : An approach based on Scopus data. *Journal of Informetrics*, 5(4), 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2011.05.005>
- Cho, Y., & Kim, M. (2014). Entropy and gravity concepts as new methodological indexes to investigate technological convergence: Patent network-based approach. *PLoS ONE*, 9(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098009>
- Gauch, S., & Blind, K. (2015). Technological convergence and the absorptive capacity of standardisation. *Technological Forecasting and Social Change*, 91, 236–249. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.02.022>
- Jeong, S., Kim, J. C., & 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>
- Leydesdorff, L., & Persson, O. (2010). Mapping the geography of science: Distribution patterns and networks of relations among cities and institutes. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(8), 1622–1634. <https://doi.org/10.1002/asi.21347>
- Leydesdorff, L., & Rafols, I. (2009). A Global Map of Science Based on the ISI Subject Categories. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(2), 348–362. <https://doi.org/10.1002/asi.20967>
- Miège, B., & Vinck, D. (2012). *Les masques de la convergence. Enquêtes sur sciences, industries et aménagements*. (B. Miège & D. Vinck, Eds.). Paris: Éditions des archives contemporaines.
- Porter, A. L., & Rafols, I. (2009). Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time. *Scientometrics*, 81(3), 719–745. <https://doi.org/10.1007/s11192-008-2197-2>
- Robles-Belmont, E., & Vinck, D. (2011). A Panorama of Nanoscience Developments in Mexico Based on the Comparison and Crossing of Nanoscience Monitoring Methods. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11(6), 5499–5507. Retrieved from [http://apps.webofknowledge.com/full\\_record.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=4Fokkflb1GLPI5m7a1M&page=1&doc=2](http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=4Fokkflb1GLPI5m7a1M&page=1&doc=2)

- Rosvall, M., & Bergstrom, C. T. (2010). Mapping change in large networks. *PLoS ONE*, 5(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008694>
- Schummer, J. (2010). FrSchummer, J. (2010). From Nano-Convergence to NBIC-Convergence: “The Best Way to Predict the Future is to Create it.” In M. Kaiser, M. Kurath, S. Maasen, & C. Rehmman-Sutter (Eds.), *Governing Future Technologies. Nanotechnology and the Rise of an Assess*. In M. Kaiser, M. Kurath, S. Maasen, & C. Rehmman-Sutter (Eds.), *Governing Future Technologies. Nanotechnology and the Rise of an Assessment Regime* (pp. 57–71). Heidelberg: Springer.
- Suh, J., & Sohn, S. Y. (2015). Analyzing technological convergence trends in a business ecosystem. *Industrial Management & Data Systems*, 115(4), 718–739. <https://doi.org/10.1108/02635570710734262>
- Vinck, D., & Robles-Belmont, E. (2012). Convergence dans les nanosciences et nanotechnologies. Le cas des micro et nanosystèmes. In B. Miège & D. Vinck (Eds.), *Les masques de la convergence. Enquêtes sur science, industries et aménagements* (pp. 43–65). Paris: Éditions des archives contemporaines.
- Waltman, L., van Eck, N. J., & Noyons, E. C. M. (2010). A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *Journal of Informetrics*, 4(4), 629–635. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.002>