

Análisis de redes sociales de un clúster en tecnologías emergentes: el caso del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León, 2009-2019

Melissa Yanell Sepúlveda López¹

Tecnológico de Monterrey, México

RESUMEN

La formación de clústeres para la creación de ciencia, tecnología e innovación (CTI) es un fenómeno social, ya que implica el establecimiento de relaciones de colaboración entre distintas organizaciones, y su localización en un área geográfica determinada, con el propósito expreso de generar CTI. Por lo que utilizar el análisis de redes sociales (ARS) permite plantear el fenómeno en términos relacionales, analizando patrones de intercambio y organización. Este estudio utiliza el enfoque de ARS para analizar al Clúster de Nanotecnología de Nuevo León (CNNL), en el periodo del 2009 al 2019, y su rol en la red de producción de nanotecnología del estado, mismos que se originaron en el marco de una integración regional bajo el modelo de la Triple Hélice. Se encontró que los laboratorios de las universidades y centros de investigación que pertenecen al CNNL poseen las medidas de centralidad más altas de la red, por lo que la estructuran y conectan a los demás actores, a pesar de ser minoría en contra del sector industrial. Así mismo, solo una pequeña parte de los vínculos formales hechos para producir nanotecnología se traducen en vínculos de comercialización o patentes, las cuáles son mayormente producidas por universidades y centros de investigación. Esto puede indicar que la producción de nanotecnología en Nuevo León se queda mayormente en los laboratorios, y no necesariamente se aplica comercialmente.

Palabras clave: *Análisis de redes sociales. Innovación. Clúster. Nanotecnología.*

ABSTRACT

The formation of clusters for the creation of science, technology and innovation (STI) is a social phenomenon, since it implies the formation of collaborative relationships between different organizations, as well as their location in a specific geographical area, with the express purpose of generating STI. Therefore, using Social Networks Analysis (SRA) allows for the study of this phenomenon in relational terms, through the analysis of patterns of exchange and organization. This study uses the ARS approach to analyze the Nuevo León Nanotechnology Cluster (NLNC), from the year 2009 to 2019, and its role in the state's nanotechnology production network, both of which originated in the midst of a regional integration effort using the Triple Helix model. It was concluded that the laboratories of the universities and research centers that belong to the NLNC have the highest centrality measures of the network, so they structure it and connect the other actors, despite being a minority against the industrial sector. Likewise, only a small part of the formal links made to produce nanotechnology are translated into commercialization links or patents. These are mostly produced by universities and research centers, and not by businesses. This seems to indicate that the production of nanotechnology in Nuevo León remains mostly in the laboratories, and is not necessarily applied or commercialized.

Key words: *Social Network Analysis. Innovation. Cluster. Nanotechnology.*

¹ *Contacto con los autores: Melissa Yanell Sepúlveda López (mel.yanell@gmail.com)*

En este artículo se aborda el estudio de caso del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León (CNNL) desde el enfoque del análisis de redes sociales (ARS). Las redes sociales son esenciales para el funcionamiento de los clústeres (Ouimet et al., 2004), ya que juegan un papel crucial en la disseminación de ideas y en la creación de innovación. Esto es porque las redes sociales promueven el intercambio constante y la deliberación de información entre actores que interactúan entre sí (Kolleck, 2013), y los clústeres se forman en espacios geográficos delimitados con el propósito de promover la formación de estas redes y la interacción.

De acuerdo con Suárez (2013), las redes condicionan la producción de conocimiento y reconfiguran el espacio, mientras que la producción de conocimiento influye en la formación y dinámica de redes, y el espacio estimula la producción de redes y conocimiento a partir de las prácticas sociales que lo constituyen. Por ello, el análisis de redes sociales (ARS) es útil para entender los procesos de innovación, ya que con él se pueden identificar los patrones de intercambio, de conducta entre sus miembros, relaciones de poder, prestigio e influencia, tanto a nivel grupal como individual (Hanneman y Riddle, 2005). El ARS puede informar sobre el funcionamiento interno de un clúster, de sus debilidades y fortalezas, sobre los problemas de coordinación entre actores y la dinámica de la difusión de ideas.

El CNNL es un producto de la política pública, impulsado por el Gobierno Estatal del Estado de Nuevo León y creado bajo el formato de la Triple Hélice. Esto implica la participación de actores públicos y privados, entre universidades, centros de investigación (CDI), y empresas, así como el uso de instrumentos que promueven la vinculación entre el sector académico y el industrial, entre los que destaca el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI).

Este estudio corresponde a una primera etapa de investigación, en donde se buscó articular a las redes que conforman al CNNL y las características particulares que permiten su funcionamiento. Los objetivos de este trabajo son analizar la influencia del CNNL sobre la articulación de las redes de producción de nanotecnología en el estado, así como la relación entre los vínculos formales mediante los cuáles se realizan las primeras etapas de los proyectos de investigación y desarrollo (I+D), y los vínculos de comercialización que los llevan hasta el mercado.

Para ello se utilizó investigación documental como fuente principal para formar estas redes. Esto dio como resultado una red multiplexada de actores con dos tipos de enlaces: vínculos

formales, representados por los proyectos del PEI registrados ante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y vínculos comerciales, representados por las patentes registradas en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) y en la Oficina Europea de Patentes (EPO). A partir de los datos se elaboraron matrices de adyacencia unimodales, las cuáles se tradujeron en gráficos para expresar visualmente las redes, mediante los softwares UCINET y Gephi. Luego se obtuvieron los indicadores estructurales de la red y las medidas de centralidad, y se realizó una descripción inicial de las redes. En seguida, se utilizó el procedimiento de asignación cuadrática (QAP por sus siglas en inglés) para analizar la correlación entre las matrices.

El uso de la información relacional que inherentemente utiliza el ARS permitió resaltar los actores, las interacciones y las dinámicas relevantes para el funcionamiento del clúster, lo cual permite una comprensión más profunda del mismo. Esta es la ventaja de utilizar el ARS, ya que la información relacional no suele ser tomada en cuenta por enfoques empíricos tradicionales cuando estos son aplicados a estudios sobre innovación (Kolleck, 2013).

El artículo se estructura como sigue: en el primer apartado se presentan las bases del enfoque teórico, que incluye al ARS y a las implicaciones que tiene su uso para el análisis de los clústeres y los procesos de innovación. En el siguiente apartado se especifica la metodología de recolección y procesamiento de datos. Luego se presentan los resultados: la descripción de las redes que conforman al CNNL, las medidas que caracterizan a la red, su cohesión y centralidad, y el análisis QAP. Por último, se presentan conclusiones, en donde se abordan los límites de este tipo de enfoque metodológico y las posibilidades de análisis que se abren para futuros estudios.

MARCO TEÓRICO

El Modelo de la Triple Hélice

Las relaciones de colaboración entre los miembros del CNNL se enmarcan en el modelo de la Triple Hélice (TH). Este fue propuesto por Etzkowitz y Leydesdorff, y engloba a las múltiples relaciones recíprocas entre los sectores institucionales público, privado y académico en los diferentes puntos del proceso de capitalización del conocimiento (Etzkowitz y Leydesdorff, 1996).

Los tres sectores se caracterizan como sigue:

- a) Sector académico: formado por las universidades, institutos tecnológicos de educación superior, etc.
- b) Sector privado: la industria, comprende a las empresas grandes, medianas, pequeñas y microempresas.
- c) Sector público: representado por el Estado, engloba los distintos organismos gubernamentales presentes en el territorio, así como la burocracia. Bajo el modelo TH, la esfera gubernamental se considera el entorno estructural y político en donde se desenvuelven la academia y la industria.

La TH postula que la interacción entre la industria, la universidad y el gobierno es la clave para producir ciencia, tecnología e innovación, y así mejorar las condiciones en una sociedad basada en el conocimiento (Etzkowitz y Leydesdorff, 1997). Propone que la innovación es un proceso social que se desarrolla a partir de las relaciones e interacciones que se dan entre estos: la dinámica económica del mercado (industrial/empresarial), la dinámica interna de la producción de conocimiento (académica) y la gobernanza de la interfaz a diferentes niveles (gubernamental).

Este modelo se originó simultáneamente como una metáfora heurística para entender dinámicas que se dieron en varias naciones en la década de 1990, y como un modelo algorítmico con el cuál se puede medir hasta qué punto la innovación se ha vuelto sistémica, en lugar de asumir la existencia de sistemas de innovación nacionales o regionales a priori (Leydesdorff, 2012). Sin embargo, hoy en día la TH es también un modelo prescriptivo que se ha utilizado en el diseño de políticas públicas de promoción a la CTI en varios países. La TH es un tipo ideal para impulsar la innovación, a la vez que es un enfoque para analizar casos exitosos de innovación (Viale y Ghiglione, 1998).

La perspectiva evolutiva de este enfoque incluye la noción de que los individuos que participan en estas organizaciones e instituciones las reforman reflexivamente (Etzkowitz y Leydesdorff, 1997). Estas reformas se pueden apreciar, por ejemplo, en el papel expansivo de las universidades y CDI en relación con la infraestructura política y económica de la sociedad en general. Con el tiempo las interacciones entre estas tres esferas generaron nuevas estructuras y mecanismos de integración, como redes de investigación, sistemas de innovación, e incluso organizaciones híbridas, como incubadoras.

De acuerdo con la TH, la clave para innovar está en el papel estratégico de la universidad como fuente de nuevo conocimiento y nueva

tecnología (Etzkowitz y Leydesdorff, 1996, 1997; González de la Fe, 2009). Aunque el papel más importante de las universidades es generar y transferir conocimiento, así como dar servicios de enseñanza, éstas también pueden crear empresas y empresarios, que a la vez pueden utilizar sus instalaciones y laboratorios como incubadoras para sus empresas (Etzkowitz y Leydesdorff, 2001). Los estudiantes también son cruciales para la innovación, ya que representan capital humano y la principal fuente de nuevas ideas, lo cuál proporciona a las universidades su ventaja competitiva específica (Etzkowitz y Leydesdorff, 2001).

La evolución de la TH ha pasado por tres etapas (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000). La primera se denomina Triple Hélice I, en la cuál el Estado dirige las relaciones entre academia e industria, como se podía observar en ejemplos como la Antigua Unión Soviética y los países de Europa del Este durante la segunda mitad del siglo XX. Tras el fallo de este modelo, la Triple Hélice II observó la separación de las fronteras que dividen a los tres sectores, una política de *laissez-faire*, una reducción del papel del Estado y la formación de relaciones altamente circunscritas entre los tres sectores. Este modelo eventualmente daría paso a la Triple Hélice III, en donde las esferas institucionales se superponen entre sí, con cada una tomando el papel de la otra y con organizaciones híbridas que emergen de las interfaces. Etzkowitz (2002) agregó lo que en la actualidad se podría considerar la fase dos de la Triple Hélice III: una en donde la relación entre los tres actores no solo es una superposición de redes trilaterales, sino en donde se asocian como iguales y trabajan en sinergia. Esta sinergia tiene el potencial de mejorar la capacidad del sistema de innovación y de aumentar el nivel de competitividad del territorio en cuestión, por lo que es realmente esta etapa la que constituye el tipo ideal de la TH actual.

Gulbrandsen (2011) identificó a los centros de investigación cómo uno de los actores híbridos que pueden surgir en la TH III, y los denominó como una cuarta hélice. A veces considerados parte del sector público, a veces del académico, en el caso de México una gran parte de los CDI son organizaciones gubernamentales que están involucradas en el proceso de producción, disseminación y uso de I+D, pero operan aparte del sector de educación superior. Gulbrandsen (2011) consideró que estos actores no pertenecían a ninguna de las tres hélices debido a su calidad híbrida, la cual podía generar conflictos de intereses y tensiones.

Los CDI pueden considerarse actores híbridos de dos maneras: primero porque ocupan un punto medio entre la ciencia y la no-ciencia/sociedad,

y segundo, porque usualmente en su operación poseen características tanto de empresa privada, porque realizan proyectos para quienes pagan por sus servicios de I+D, como de organismo gubernamental, ya que muchas veces están afiliados a los mismos y se rigen por su estructura burocrática. Esta dualidad crea tensiones entre la cultura académica (problemas de legitimidad con respecto a sus actividades científicas), y civil (falta de objetividad, criticismo e independencia en su quehacer científico) que los rige. Así mismo, genera problemas de "competencia injusta" entre sus valores industriales y burocráticos, ya que compiten en el mismo mercado que empresas privadas pero poseen beneficios por pertenecer al sector público, como acceso a ciertos fondos de financiamiento.

Varios de los actores presentes en este estudio de caso son centros de investigación, que precisamente operan con las características híbridas establecidas por Gulbrandsen (2011). Instituciones como el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) y el Centro de Investigación en Química Avanzada (CIQA), son parte del Sistema de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (CONACYT, 2021f). Esto quiere decir que son coordinadas por el mismo, se les asigna una parte del presupuesto federal dedicado a CTI para su funcionamiento, y tienen acceso a programas de financiamiento dirigidos específicamente a estos centros, usualmente para promover la vinculación con el sector privado. Al mismo tiempo, el sector privado tiene la opción de solicitar los servicios de los centros y pagar por ellos directamente, sin necesidad de pasar por programas de financiamiento público. Esta estructura híbrida implica que no se puede ignorar la existencia, y la relevancia, de una cuarta hélice en este caso.

Análisis de Redes Sociales: conceptos básicos

De acuerdo con Sanz (2003), en sociología fue Simmel (1908) el primero en proponer que los patrones de vinculación entre individuos afectan a la estructura social. Eventualmente este interés sobre las estructuras sociales se combinó con el razonamiento matemático para concluir en un enfoque sociométrico que mide cuantitativamente a las redes y sus propiedades (Freeman, 1979). Pero el uso del concepto de "redes de colaboración" para estudiar transmisión de conocimiento en relación con la ciencia, tecnología e innovación (CTI) se dio por primera vez en el trabajo de Crane (1972).

El argumento central del ARS es que los fenómenos sociales pueden entenderse mejor si se analizan las relaciones entre los actores involucrados (Sanz, 2003). El ARS hace justamente eso: identifica las estructuras sociales que emergen de las relaciones entre actores, y utiliza la recolección y análisis de datos, la representación gráfica de los mismos, así como varios modelos matemáticos y computacionales, para poder mostrar los patrones de estas estructuras, describirlos y explicarlos (Freeman, 2004).

Wasserman y Faust (1994) precisan que ARS utiliza terminología teoría de redes para describir estas estructuras, denominadas "redes sociales". Estas están formadas por "nodos", que pueden ser individuos u organizaciones, que se conectan a través de "enlaces", o diversos tipos específicos de interdependencia: relaciones de amistad, de interés común, de transferencia de conocimiento, de prestigio, etc. Los nodos pueden conectarse a través de un solo tipo de enlace, o de varios a la vez. Las redes sociales pueden operar en muchos niveles (familias, lugares de trabajo, ciudades o hasta naciones). De acuerdo con Scott (1991), el ARS estudia la conducta de los individuos a nivel micro, y a nivel macro los patrones de relaciones y la composición global de la red, así como las interacciones entre ambos niveles y sus flujos, que pueden ser de conocimiento, colaboración, recursos o poder.

Sanz (2003) señala que existen dos ideas fundamentales que sustentan al ARS. La primera es que las interacciones en una red podrían tener un impacto relevante en el comportamiento de los actores, en los resultados que generen las estructuras de poder y los procesos de aprendizaje que se den entre actores. La segunda es que la estructura social afecta las creencias y la conducta de los actores y viceversa, de tal manera que las redes sociales son causa y resultado de dichas conductas. De acuerdo con Wasserman y Faust (1994), el entorno estructural de la red es al mismo tiempo habilitante y limitante para la acción individual.

El Análisis de las Redes Sociales como herramienta para el estudio de la innovación

El ARS ha demostrado su utilidad en distintas aplicaciones: puede ayudar a comprender, predecir o incluso gestionar mejor los resultados de la acción humana (Sanz, 2003), evidenciar los efectos de estas estructuras sobre el acceso a los recursos (Granovetter, 1973), discernir la manera en que se solucionan los problemas, cómo funcionan las organizaciones, cómo se organizan ciertos grupos (Wasserman y Faust, 1994), entender cómo el contexto social influye

sobre los actores y cómo se realiza las ideas y la innovación (Kolleck, 2013), entre otros.

Pero en las últimas décadas, el ARS ha sido cada vez más utilizado para el estudio de la innovación, desde diferentes perspectivas, y utilizando las distintas herramientas que el enfoque ofrece. Por ejemplo, Quadrona (2020) y Alberti et al. (2021), utilizaron el ARS para analizar actividades innovadoras en clústeres. Alberti et al. (2021) se enfocaron en los efectos de los roles de liderazgo en las redes, y Quadrona (2020) en describir la estructura de las relaciones de la red, y en el efecto del comportamiento de los actores sobre la mejora productiva del clúster.

El estudio de la innovación a través de las patentes es una aplicación popular del ARS, como se puede observar en los trabajos de Yoon y Park (2004), Guan y Zhao (2013), De Prato y Nepelski (2014) y Lee et al. (2016).

El análisis de redes de patentes es una aplicación popular del ARS, y se ha utilizado como una herramienta para entender las últimas tendencias tecnológicas. Por ejemplo, Lee et al. (2016) utilizaron el ARS para entender la convergencia tecnológica en el área de la robótica. De Prato y Nepelski (2014) estudiaron la estructura de redes de colaboración globales, y encontraron que la posición de un país en la red impacta fuertemente sobre la intensidad de su colaboración con otros países.

En el estudio de innovación por medio de patentes, específicamente en el área de nanotecnología, se pueden encontrar los trabajos de Zheng y Cui (2013) o Molina et al. (2010), quienes analizaron redes de colaboración transnacionales en nanotecnología, o Guan y Zhao (2013), quienes usaron el ARS para identificar las redes de colaboración entre universidades e industrias para patentes nanobiofarmacéuticas.

La nanotecnología también ha sido abordada desde las redes de coautoría y citación, tanto en artículos como en patentes, también aplicaciones notoria del ARS. Guan y Shi (2012) usaron el ARS para estudiar patrones de citación transnacionales en publicaciones. Por su parte, Liu et al (2014) analizaron redes de coautoría de patentes para evaluar cómo la difusión de conocimiento se ve afectada por la locación y la conectividad de los investigadores en la red.

Si bien las redes de coautoría, citación y patentes son aplicaciones comunes del ARS, el enfoque también se ha utilizado para analizar redes que cubren otras partes del proceso de innovación. Por ejemplo, Pinhero et al. (2014) usaron el ARS para el estudio de las relaciones entre universidad e industria, en el contexto de la

cooperación para realizar innovación a través de I+D. Sus resultados mostraron que las relaciones interpersonales son cruciales para el establecimiento de actividades de cooperación exitosas. Aarikka-Stenroos (2014) se enfocó en el estudio de las redes necesarias para llevar a cabo la comercialización de innovación, un área poco estudiada. Lazzeretti y Capone (2015) investigaron las dinámicas relacionales en redes de innovación de alta tecnología aplicada a los bienes culturales en la región de Toscana. Por su parte, Cuevas et al. (2017) examinaron las redes de financiamiento entre las instituciones de investigación del sistema nacional de investigación agropecuario en México.

El ARS ha sido utilizado para el estudio de la innovación como catalizador de desarrollo a nivel regional. Diez (2008) y Rodríguez-Modroño (2012) estudiaron distintas regiones de España: Diez (2008) se enfocó en la región de Bahía Blanca, y cómo las redes interorganizacionales constituyen un entorno de apoyo a las actividades innovadoras. Rodríguez-Modroño (2012) utilizó el concepto de capital social para el análisis del desarrollo regional a partir de las redes empresariales en la región de Andalucía.

Por su parte, García Macías (2002) aplicó el enfoque al estudio del distrito industrial textil en la región del centro occidente de México. Mientras que Bressan y Matta (2015) analizaron las redes de difusión de conocimiento en el clúster electrónico de Córdoba, en Argentina.

Medidas de centralidad y cohesión

Hay tres conceptos clave en el ARS, que funcionan como ejes centrales para entender el efecto de las redes sobre los actores: **centralidad, cohesión y equivalencia estructural**. La **centralidad** es de vital importancia para el ARS, porque indica qué tan bien conectado está un actor en la red, y el poder y la influencia social que posee (Wasserman y Faust, 1994). Actores que ostentan posiciones centrales poseen mayor capacidad de influencia sobre la opinión y conducta de los otros actores de la red, y tienen mayor capacidad de intervención en el flujo de intercambio de información o recursos (Pérez Beltrán et al., 2015).

La centralidad de un nodo puede evaluarse a través de cuatro medidas: grado, cercanía, intermediación, y eigenvector:

- **Grado:** de acuerdo con Borgatti et al (2013), la cantidad de enlaces, de un tipo en específico, que posee un nodo. Entre más alto sea el grado, más conectado está el nodo. El grado da información sobre la centralidad de un actor con base en los actores cercanos (Pérez Beltrán et al., 2015). El grado se puede

interpretar en términos del riesgo inmediato de un nodo para capturar los flujos de la red.

- **Eigenvector:** es una medida de la influencia del nodo. Bonacich (1972) señala que se mide como una variación del grado, contando los números de nodos adyacentes a un nodo en específico, pero tomando en cuenta la centralidad de cada nodo adyacente (el peso de sus enlaces). La centralidad, y por lo tanto la influencia, de un nodo es proporcional a la suma de las centralidades del nodo a los cuáles es adyacente. Entre más alto el número, mayor centralidad e influencia.

- **Cercanía:** consiste en la suma de las distancias geodésicas de un nodo hacia los demás (Freeman L., 1979). Borgatti et al. (2002) explican que un actor tiene mayor centralidad en cuanto menor sea el número de pasos que se necesitan para relacionarse con el resto de los actores de la red. Además, la cercanía sirve para indicar la autonomía respecto de los demás y puede servir, junto con la intermediación, para especificar la relevancia del valor del grado. La cercanía también refleja la capacidad de acceso a la información de un actor a través de sus enlaces, y provee de una medida de la formación de grupos o *clickas*, la probabilidad de que dos asociados a un nodo estén asociados entre sí (Wasserman y Faust, 1994). Un valor bajo de cercanía es relativo al número de "pasos" que un actor requiere para llegar a cualquier otro actor en la red: entre más bajo es el índice, más rápido puede conectarse un actor con otro, y entre más alto, menos conectado. Por lo que una baja cercanía indica que un actor está mejor conectado que una alta cercanía.

- **Intermediación:** es la medida de la frecuencia con la que un nodo se encuentra en el camino más corto entre otros dos nodos (Freeman, 1979). Esta representa la capacidad de un nodo de funcionar como *gatekeeper*, de poder controlar los flujos entre los nodos de la red. La intermediación está ligada a la teoría de los hoyos estructurales de Burt (1992), espacios vacíos en los flujos de información de la red. Estos se dan cuando un nodo, llamado ego, posee enlaces con alters, u otros nodos, pero ellos no están conectados entre sí. La intermediación indica el control que cada actor tiene de los flujos relacionales en la red: un valor alto de intermediación significa que estos actores sirven como vínculo o puente entre diferentes actores, los cuáles rellenan los hoyos en cuestión. La presencia de puentes indica que los flujos entre los enlaces no son redundantes, por lo que cada enlace participa de distintos flujos de información. Si un actor se convierte en un puente este provee de información útil acumulable, en lugar de repetida (Freeman, 1979). Redes ricas en hoyos estructurales

proveen de acceso a muchos alters no conectados entre sí, y, por lo tanto, acceso a muchos flujos de información distintos. Los hoyos estructurales tienden a aparecer cuando se da una configuración de red en donde hay subgrupos con densidad alta, pero la red en general posee una densidad baja, lo cual causa que surjan hoyos que son llenados por actores que actúan como puente entre subgrupos.

La **cohesión** mide el grado de interconexiones entre un grupo de nodos (Burt, 1987), lo cuál puede ser de utilidad para detectar sub-grupos o *clickas* dentro de una red más grande (Burt, 1987). La cohesión es un elemento estructural esencial para moderar la influencia de las redes interpersonales; de acuerdo con Friedkin (1993), la influencia personal se fortalece en redes con un mayor nivel de cohesión social que en las que presentan un nivel bajo.

Para calcular la cohesión a nivel grupal se puede recurrir a la medida de **densidad global**, que mide la proporción de todas las diadas que están enlazadas entre sí en comparación con todas las diadas potenciales en la red (Wasserman y Faust, 1994). La densidad también indica el promedio de todos los valores de los enlaces en una matriz de adyacencia.

También se puede recurrir a la **homofilia**. McPherson et al. (2001) describieron a la homofilia como el principio que establece que el contacto entre actores similares ocurre más seguido que entre actores disímiles. La homofilia implica que la información cultural, genética, material o de comportamiento que fluye en la red tiende a estar localizada. Así mismo, implica que la distancia en términos de características sociales se traduce en distancia dentro de la red, es decir, el número de actores a través de los cuáles debe de viajar la información para alcanzar a un individuo. Tanto la densidad como la homofilia indican una mayor cohesión dentro de la red si sus índices se acercan a 1. Si sus índices se acercan a -1, en el caso de la densidad se asume que la red no está conectada, y en el caso del índice de homofilia, se asume una perfecta heterofilia.

El papel que juega un actor dentro de la red se puede inferir interpretando las medidas de centralidad. Freeman et al. (1991) por ejemplo, señalan que un actor con alto valor de intermediación se puede encontrar en medio de otros dos actores, interrumpiendo su comunicación, y, por lo tanto, controlándola. Por lo que estaría fungiendo como un puente o intermediario de acceso a la información, conocimiento o recursos. Los actores intermediarios suelen encontrarse en posiciones de poder, y esta posición incluso puede rendirles otras ventajas, como un costo por sus servicios.

Las medidas de centralidad también pueden utilizarse para medir el capital social, el cual fue definido por Bourdieu como: "la suma de los recursos, actuales o virtuales, que acumula un individuo o un grupo al poseer una red durable de relaciones más o menos institucionalizadas de conocimiento y reconocimiento mutuos" (Bourdieu y Wacquant, 1992, p.119). Dentro del análisis de redes sociales, Burt (2005) se refirió al capital social como las ventajas que surgen de la posición de los actores en la red: ciertos actores, o grupos de actores, están mejor conectados que otros, y dependiendo de su posición en la red pueden aprovechar el intercambio de recursos o ventajas que poseen entre sí. Por su parte, Coleman (1990) conceptualizó al capital social como una función de la estructura social que produce ventajas para los actores, refiriéndose a manifestaciones del capital como confianza, normas, y redes que pueden facilitar acción coordinada y proveer de ventajas competitivas a los actores. Borgatti y Everett (1998), tras una revisión exhaustiva de literatura, aterrizaron el concepto de capital social para el ARS como el valor de las relaciones sociales de un individuo, o un grupo, como una metáfora en la cuál la estructura social es un tipo de capital en sí, que puede crear una ventaja competitiva para ciertos actores o grupos de actores que estén mejor conectados.

Finalmente la equivalencia estructural indica que dos o más posiciones en la red comparten un patrón de conexiones con el resto de la red. Cuando los nodos equivalentes se conectan con actores similares, es más probable que reciban información o influencia social parecida. Por ejemplo, Burt (1987) encontró que las innovaciones tienen más probabilidades de fluir a través de equivalencias estructurales que de lazos directos.

El proceso de innovación

Las empresas, las Instituciones de Educación Superior (IES), los centros de investigación y los organismos gubernamentales son organizaciones sociales, y a medida que sus integrantes interactúan con su entorno, y con integrantes de otras organizaciones, absorben información y la convierten en conocimiento (Nonaka y Takeuchi, 1995). La creación y transferencia del conocimiento por parte de una organización fuente, y el aprendizaje y uso por parte de una organización receptora son los procesos esenciales para la creación de CTI, y al participar en este intercambio forman redes. Estas redes, además de constituir la estructura con la cual se organizan socialmente, son también los canales mediante los cuáles fluye el conocimiento, el capital social, el capital

económico y el capital cultural necesario para generar innovación.

De acuerdo con Stezano (2012) en las redes de transferencia de conocimiento pueden presentarse tres tipos de canales de intercambio: el informal, formal y de comercialización. Estos se describen a continuación:

1. El **canal informal** se genera por interacciones establecidas sin la necesidad de organizaciones formales (Dahl y Pedersen, 2002).
2. El **canal formal** necesita de acuerdos organizacionales formales para establecer relaciones de transferencia de conocimiento, como pueden ser programas gubernamentales de apoyo a la CTI, o contratos (Arvanitis et al., 2005). Este puede ser codificado por medios formales, como publicaciones, conferencias, entre otros, o tácitos por medio de capital humano, como capacitaciones o movilidad de personal.
3. El **canal de comercialización** se forma de intercambios basados en actividades científicas con una orientación comercial, como serían, contratos de investigación, licencias, y patentes, entre otras (Perkmann y Walsh, 2007).

Mientras que los datos necesarios para integrar y analizar redes formadas con canales formales o de comercialización pueden recopilarse a través de la revisión documental, para los canales informales usualmente se necesita recopilar la información a través de métodos cualitativos como entrevistas o encuestas. En este trabajo solo se utiliza la revisión documental como metodología de recopilación de información, por lo cuál el análisis de canales informales se deja pendiente para una segunda etapa de investigación.

Del Programa de Estímulos a la Innovación al registro de patentes

Conforme a lo establecido por Arvanitis et al. (2005), para analizar el canal de comercialización en este trabajo se recurrió a los registros de patentes, y para analizar el canal de comercialización se utilizan los registros del PEI. La patente se define como un derecho exclusivo de explotación comercial que concede el Estado al titular de una invención, a cambio de que la misma se ponga en conocimiento público (OMPI, 2021). Márquez (2005) afirma que la información contenida en una patente permite convertir a las invenciones en valor real, elevar el conocimiento y favorecer el rendimiento. Las patentes suelen ser utilizadas como indicadores para medir el grado de innovación de una unidad, ya sea empresa, región, o incluso país

(Diessler, 2010). Esto es debido a que representan a la innovación en su estado más cercano a la comercialización, etapa en donde se puede medir su impacto económico más certeramente.

Díaz y Alarcón (2017) admiten la parcialidad de utilizar a las patentes como indicador para medir innovación, pero enfatizan la accesibilidad y la confiabilidad de la información disponible. Las patentes no concretan todas las invenciones en productos y/ procesos exitosos en el mercado, pero sí constituyen una medida del esfuerzo dedicado al desarrollo de innovaciones.

El canal formal está representado en este trabajo por los programas gubernamentales para el financiamiento de la CTI, específicamente por el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI). Con este tipo de programas, el gobierno proporciona parte del presupuesto de un proyecto de desarrollo de CTI, y la iniciativa privada (IP) pone el resto. El propósito es que esto sea una motivación suficientemente conveniente como para que las empresas consideren invertir de sus propios recursos en innovación, promover la vinculación de la Triple Hélice, y que dichas innovaciones puedan pasar de ciencia básica a insertarse en el sistema productivo (SEGOB, 2014).

El PEI es el programa de financiamiento público para la CTI más estudiado en cuanto a su impacto, sobre todo en relación con la adicionalidad. Por ejemplo, se ha encontrado que el PEI ha logrado aumentar la competitividad de las organizaciones que han participado en proyectos, tanto IES (Mungaray et al., 2013) como empresas (Muñoz, 2017). El PEI ha tenido impacto incluso sobre las regiones de las empresas e IES que participan, como explicaron Medina y Villegas (2016). Estos autores encontraron que el PEI ayudó a crear condiciones que promueven el desarrollo y competitividad de dichas regiones, aunque no de manera equitativa entre los estados de la república.

De acuerdo con Moctezuma et al. (2017), las relaciones que promueve el PEI entre IES y empresas se han convertido en el medio institucional de vinculación más importante del país, debido más que nada a sus reglas de operación claras, objetivos concretos que permiten que se pueda manejar administrativamente de forma sencilla. Su popularidad también se debe al hecho de que es el programa al que más dinero le destinó CONACYT en comparación con otros programas parecidos, como el Fondo para la Innovación Tecnológica (FIT). Sin embargo, la otra cara de la moneda es que muchas empresas se han hecho dependientes del PEI para ejecutar estrategias de innovación, algunas incluso de

manera recurrente y sistemática. Villavicencio et al. (2020) afirman que esto se debe en parte a la carencia de capacidades de innovación por parte de las empresas, y a que en el país son escasas otras formas alternativas de capital para financiar la innovación, como los créditos flexibles o el capital de riesgo.

Villavicencio et al. (2020), en su estudio a profundidad sobre el PEI, afirman que la vinculación, especialmente en sectores intensivos en conocimiento, es fuerte porque la academia y los CDI poseen tanto conocimiento científico y tecnológico de vanguardia, como infraestructura necesaria para realizar investigación que las empresas no poseen. Lo cual se debe a que el aparato industrial mexicano ha evolucionado de tal manera que no ha contribuido a que haya más empresas con las capacidades necesarias para llevar a cabo proyectos de este tipo por sí mismas. Una posible explicación es que "la mayoría de las empresas mexicanas fabrican partes, piezas y productos finales de mediana o baja intensidad tecnológica, venden sus productos en mercados estrechos y no hay interés y/o necesidad por parte de muchos empresarios para innovar" (Villavicencio et al., 2020, p.104).

Si bien el PEI ha sido muy estudiado, la literatura sobre el PEI y su impacto sobre las patentes es escasa. Solís et al. (2018) analizaron el impacto del PEI sobre la apropiación de la propiedad industrial en el contexto de patentes, modelos de utilidad y diseños industriales. Estos autores concluyeron que el PEI no tuvo influencia sobre la capacidad de las empresas de apropiarse de propiedad industrial en estas formas, y que además la distribución de recursos fue desigual entre las empresas beneficiadas, ya que las que participaron entre los años 2009-2013 recibieron más de un proyecto, mientras que hubo empresas aplicaron al programa y fueron rechazadas. Solís et al. (2018) también observaron un sesgo a favor de las grandes empresas, que en teoría tienen más recursos para financiar proyectos de innovación y algunas hasta cuentan con sus propias áreas de I+D, a diferencia de las empresas medianas, pequeñas y micro, que necesitan más del impulso del PEI.

Clusterización de la innovación

Becattini (2002) rastrea el concepto de "aglomeración" de las actividades económicas al trabajo de Marshall sobre distritos industriales, realizado a principios del siglo XX. En él, encontró que había empresas que permanecían geográficamente cercanas debido a sus relaciones de productor-cliente, a la mano de obra compartida y al *spillover* de conocimiento que se generaba. Con base en estos trabajos,

Porter (1990) introdujo el concepto de clúster industrial. El clúster se consideró una herramienta para aumentar la competitividad, dado que podían reducir los costos de transacción, crear conocimiento y promover la formación de nuevas empresas.

Porter (1990) definió al clúster como un grupo de empresas interconectadas de un sector en particular, agrupadas por factores en común o que se complementan, y que geográficamente se encuentran cercanas. Los clústeres no ponen énfasis en el papel del contexto o la cultura, sino que resaltan el papel de la posición geográfica de los actores, dado que se considera que ciertas ubicaciones geográficas benefician a ciertas industrias. Ejemplo: sería más factible abrir una *start-up* exitosa en el Silicon Valley que en cualquier otra ciudad. El enfoque de los clústeres de innovación para el análisis de la actividad económica combina conceptos de economías de aglomeración, organizaciones industriales, sistemas de producción flexible y gobernanza local (Saxenian, 1994).

Sin embargo, Martin y Sunley (2003) señalan que el concepto de clúster sufre de confusión empírica y conceptual, debido a que las definiciones de Porter son vagas en términos de escala geográfica y dinámicas socioeconómicas internas, lo cual ha permitido que se use la idea de diferentes maneras para acomodar el propósito de distintos investigadores. Por lo mismo, la definición de las características que constituyen a un clúster puede variar.

Porter (1990) señala que el alcance geográfico de un clúster puede ir desde una sola ciudad o estado hasta un país, o incluso una red de países vecinos. Los clústeres pueden tomar variadas formas dependiendo de sus elementos y grado de sofisticación, pero la mayoría incluye: empresas que fabrican los productos finales; proveedores de materiales especializados, componentes, maquinaria y servicios; instituciones financieras; empresas de industrias relacionadas.

A veces también se pueden incluir empresas de industrias que se ubican más abajo en la cadena de valor, como aquellas que se dedican a distribución, productores de productos complementarios, proveedores de infraestructura especializada, organismos de gobierno o agencias que se dedican a establecer estándares. Asociaciones de comercio y otras organizaciones o colectivos privados también pueden proveer un papel de apoyo a los miembros del clúster.

De acuerdo con Quadrana (2020), para la corriente económica evolucionista los clústeres no se constituyen solo por flujos mercantiles, sino que resultan mucho más relevantes los

intercambios de información, conocimiento y tecnologías que se produce en ellos. Desde este enfoque el clúster es más bien una fuente de ventajas competitivas, en donde las dinámicas empresariales de competencia y cooperación las ayudan a alcanzar una eficiencia colectiva que no podrían obtener de manera individual. Entonces, este tipo de aglomeraciones facilitan procesos dinámicos de innovación, desarrollo de capacidades y procesos de cambio tecnológico (Lundvall, 1992). Estas dinámicas configuran el espacio, el cuál es resultado de las interacciones entre actores, no de la voluntad individual (Quadrana, 2020).

Si las relaciones son lo que determina al clúster, este se puede considerar como una especie de estructura social, y estudiar las relaciones dentro de esta estructura se vuelve relevante para entender su funcionamiento.

El Clúster de Nanotecnología de Nuevo León

De acuerdo con Záyago-Lau y Foladori (2010), el interés por desarrollar la nanotecnología en México quedó expreso por primera vez en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECYT) 2001-2006. En el PECYT se estableció a la nanotecnología como un sector estratégico con potencial de desarrollo importante, especialmente para el sector energético. Esta posición fue reforzada por el PECYT 2008-2012. No obstante no se elaboró una iniciativa nacional de nanotecnología, ni una propuesta de instrumentalización, ni se asignó un presupuesto para desarrollar esta área (Foladori y Záyago, 2016).

A pesar de que nunca se pronunció una política, agenda o iniciativa nacional formal específica para guiar el desarrollo de la nanotecnología, para el año 2010 México era uno de los líderes en nanotecnología a nivel América Latina, junto con Brasil, de acuerdo con el número de instituciones que realizaban investigación, infraestructura, publicaciones científicas, convenios internacionales y recursos humanos (Záyago-Lau y Foladori, 2010).

A falta de una agenda nacional, el desarrollo del sector quedó en las manos de los gobiernos estatales o municipales, en colaboración con el sector privado y académico. En el caso de Nuevo León, la iniciativa provino de una coalición entre el Gobierno del Estado, un grupo de empresarios y la comunidad científica y académica, formada en los inicios del sexenio del gobernador Natividad González Parás (2003-2009) (CECIC, 2005). Esta coalición propuso el proyecto Monterrey Ciudad Internacional del Conocimiento (MTYCIC), la cual tenía como objetivo principal hacer de "la ciencia y la

tecnología el punto de partida estratégico para ganar la competitividad y la inversión productiva en el estado" (Armendáriz, 2004, p.390). La lógica era apostarle a desarrollar investigación aplicada que generara riqueza. Esto se haría a través de la incorporación de los temas de conocimiento, capital intelectual e I+D al plan de desarrollo estatal (Armendáriz, 2004), y abandonar, o al menos alejarse, del sistema productivo tradicional manufacturero que había traído tanto éxito a la ciudad.

La colaboración de la Triple Hélice era un punto central de este proyecto, con el Estado actuando como promotor de la vinculación entre empresas y los sectores científicos y académicos, para que fuera esta vinculación la que diera lugar a la innovación (CECIC, 2005). Parte de las estrategias para promover la colaboración entre la Triple Hélice fueron los clústeres integrados en la cadena global de valor, en varios sectores estratégicos, entre los cuáles se encontraba la nanotecnología (CECIC, 2005).

El Clúster de Nanotecnología de Nuevo León (CNL) surgió como parte de este proyecto, con la idea de que promoviera "la difusión y el acercamiento de centros de investigación a empresas con proyectos para acelerar su desarrollo y realizar investigación que permita dar solución a los problemas que plantea el mercado" (González, 2011, p.20). Los objetivos del CNL fueron, entre otros, generar condiciones para que las grandes empresas de la región pudieran adoptar la nanotecnología dentro de sus desarrollos y enriquecer sus cadenas de valor industriales existentes, así como crear nuevas empresas de base tecnológica (González, 2011).

El CNL inició operaciones en 2008 (Záyago-Lau, 2011), operando desde las instalaciones del Parque de Innovación y Transferencia Tecnológica (PITT), el cual se ubica al noreste del centro de Monterrey, en el municipio de Apodaca. El PITT es un parque tecnológico de 70 hectáreas, que contó con una inversión inicial de 100 millones de dólares para infraestructura, y 150 millones de dólares para equipo (Moreno & Contreras, 2010). En el PITT se construyó con la intención de concentrar laboratorios tanto

públicos como privados, de la academia y la industria, para promover la vinculación entre ambos sectores y desarrollar CTI, capital intelectual y la incubación de nuevas empresas basadas en la innovación (Parada, 2009), de tal modo que el CNL fuera un clúster con una concentración geográfica de actores conectados funcionalmente en la medida de lo posible.

Además de hospedar al CNL, el PITT también hospeda a otros clústeres, así como a dos incubadoras especializadas en tecnologías emergentes: una dedicada al desarrollo de biotecnología y otra a nanotecnología. Al año 2020, en las instalaciones del PITT están establecidos 8 centros de investigación de universidades, 10 centros de investigación públicos, 14 centros de investigación privados y 2 incubadoras (Nanotechnology Cluster, 2021).

El CNL empezó operaciones en junio del 2008, bajo el modelo de la Triple Hélice, con 16 miembros. Para el año 2021, cuenta con 43 miembros: 22 miembros oficiales, más los 21 miembros del Clúster de Biotecnología de Nuevo León, o BIOCLUSTER, quienes también participan de las actividades del CNL. Los objetivos con los que se estableció el CNL son: impulsar la competitividad de la región, promover la vinculación entre el sector académico y el industrial, aportar valor agregado a través de la innovación en nanotecnología, desarrollar recursos humanos especializados, crear nuevos negocios con aplicaciones en nanotecnología y acelerar el ecosistema de innovación de Nuevo León (NanoTechnology Cluster, 2021).

Tras 13 años de funcionamiento, el CNL enlista varios logros, entre los cuáles se encuentran la organización del Nano International Fórum, el desarrollo de carreras enfocadas en nanotecnología en varias universidades del estado, la incubación de al menos cinco nuevas empresas con enfoque en nanotecnología, más de 300 proyectos vinculados y la creación de 16 plataformas para apoyar el escalamiento en proyectos de nanotecnología (NanoTechnology Cluster, 2021).

Tabla 1*Miembros del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León, 2021*

Sector	Giro	Nombre
Gobierno		Secretaría de Economía y Trabajo
		Instituto de Innovación y Transferencia Tecnológica
Academia	Universidad privada	Tecnológico de Monterrey (Tec)
	Universidad pública	Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)
	Centro de investigación público	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)
	Centro de investigación público	Centro de Investigación en Química Avanzada (CIQA)
	Centro de investigación público	Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)
Otros clústeres		Clúster de Biotecnología de Nuevo León (BIOCLUSTER)*
Empresas	Prestadora de servicios	INNCOM
	Prestadora de servicios	Distrito Emprendedor
	Salud	Bintis
	Lubricantes	GNA
	Eléctrico	Viakable
	Eléctrico	Kinetech
	Materiales Avanzados	Nanomat
	Materiales Avanzados	Nanomateriales
	Automotriz	Nemak
	Automotriz	Edino
	Automotriz	Vitro
	Alimentos	Sigma
	Vivienda	Cemex
	Vivienda	Lamosa
Electrodomésticos	Whirlpool	

*El BIOCLUSTER está integrado a su vez por 21 instituciones, y por lo tanto éstas también forman parte del CNNL. Fuente: NanoTechnology Cluster (2021).

MÉTODOLÓGÍA

Este estudio utiliza una metodología cuantitativa para realizar un análisis de redes de carácter correlacional (Borgatti y Johnson, 2013). El propósito es examinar cómo se estructura el clúster a partir de las redes encontradas, así como medir el grado de asociación entre distintas variables que están presuntamente relacionadas y evaluar su grado de vinculación.

Esta evaluación puede proveer de información que permita entender a profundidad cómo funcionan las relaciones dentro del CNNL.

El presente trabajo limita su alcance a las redes inter-organizacionales que hayan surgido a partir de la colaboración en proyectos PEI y en registro de patentes. Específicamente, proyectos o patentes que busquen innovar en el área de nanotecnología, realizados por empresas, IES o centros de investigación radicadas en el estado

de Nuevo León, específicamente dentro del Área Metropolitana de Monterrey (AMM). La búsqueda abarcó desde el año 2009, un año después de que el CNNL empezara operaciones, hasta el 2019, que es la última vez que los bases arrojan datos actualizados que cumplen con los criterios de este estudio. Estos datos conforman una foto en el tiempo, no una base para un estudio longitudinal; es decir, se da un panorama del total de organizaciones y sus proyectos PEI y patentes en nanotecnología a lo largo de 10 años.

Hanneman y Riddle (2005) señalan que el alcance de un estudio hecho con ARS se define

por las características de los actores involucrados, por lo que el primer paso es utilizar los datos recopilados para generar redes, representarlas en forma de gráficos y obtener métricas que permitan describir sus dinámicas.

La recopilación de datos se hizo a través de la investigación documental. Para la captura de la información relacionada con patentes de nanotecnología se realizaron varias búsquedas en la base de datos mantenida por la Oficina Europea de Patentes (EPO, por sus siglas en inglés), utilizando los términos aplicados por Robles-Belmont et al. (2016) para filtrar patentes específicas de nanotecnología (tabla 2).

Tabla 2

Palabras clave para la búsqueda de patentes en la base de datos de la EPO

Nanodroplet* or Nanorod* or Nanodrug* or Nanoscale or Nanoelectronic* or Nanosieve* or "Nanoelectromechanical systems or Nanosiz* or Nanoemulsion* or Nanosphere* or Nanoengineer* or Nanostructur* or Nanofabrication or Nanotechnolog* or Nanofiber* or Nanotemplate* or Nanofilter* or Nanotribology or Nanohybrid* or Nanotube* or Nanoindentation or Nanowire* or Nanolithograph* or Quantum-dot* or Quantumdot* or "Quantum-dot*" or Nanomaterial* or Quantum-wire* or quantumwire* or "Quantum wire*" or Nanomedicine or Quasi-crystal* or Quasicrystal* or "Quasi crystal*" or Nanometrology or Spintronics or Nanoporou* or thinfilm* or "thin-film*" or "sol gel" or sol-gel or solgel or nm or nanometer* or "electron microscop*" or "atom* force microscop*" or "tunnel* microscop*" or "molecular beam epitaxy" or "scanning probe microscop*" or "scanning electron microscop*" or "energy dispersive X-ray" or "Xray photoelectron*" or "electron energy loss spectroscop*" or "reflectance spectroscop*" or "ramanspectroscop*" or "electron spin resonance" or "scanning probe microscop*" or "extreme-ultraviolet lithography" or "nuclear magnetic resonance" or "optical lithograph*" or "soft lithograph*" or "scattering spectroscop*"

Los términos se mantuvieron en su original inglés, mismo lenguaje que utiliza la EPO. Fuente: Belmont et al. (2016).

Se usó el término de búsqueda "MX" para buscar las patentes registradas en México, para luego filtrarlas por medio del campo "Aplicante", limitando la búsqueda a empresas o individuos de origen mexicano. Al final, para destacar solo las patentes realizadas en Nuevo León, se realizaron varias búsquedas sobre la información de las organizaciones enlistadas, o en dado caso personas, para determinar cuáles o quiénes radican en Nuevo León. Se aplicaron los mismos criterios de búsqueda, pero con los términos de la tabla 2 traducidos al español, para explorar la base del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), y así complementar los resultados de la base de EPO.

Para poder realizar adecuadamente las redes a nivel individual e institucional, y poder determinar cuáles instituciones participaron en su etapa de I+D, se hizo un rastreo de patentes. De la información disponible en el registro de patentes, se tomaron los nombres de los autores de la invención, y se hicieron búsquedas en línea para encontrar sus instituciones de adscripción al momento del registro de patente. Esta

información está disponible ya sea en las páginas web de cada institución, en los perfiles de LinkedIn de los autores, o en los artículos publicados por los mismos. Se encontró la información de todos los autores, excepto por dos.

Para la recolección de datos relacionados con los proyectos PEI, el CONACYT ofrece en su página web acceso directo a una base de datos que contiene información específica de los proyectos, sus beneficiarios (organizaciones que reciben el apoyo), sector de aplicación y montos de apoyo asignados.

Una vez obtenidas las bases de datos, se usaron para realizar matrices de adyacencia. Estas son matrices cuadradas en donde se indican las relaciones entre actores. En este análisis se utilizaron dos softwares para el análisis de las matrices: Gephi, auxiliar en computar las representaciones gráficas de las redes (Bastian et al., 2009), y UCINET, para obtener las medidas de cohesión y centralidad, y realizar el Quadratic Assignment Procedure (QAP) (Borgatti et al., 2013). Este es una función de UCINET que

no solo ejecuta regresiones múltiples, sino que también permuta miles de veces el orden de los datos para calcular los errores estándar para cada coeficiente, y registra cada permutación que generó un coeficiente equivalente al que se obtuvo durante la regresión. Para este estudio, se utilizaron 50,000 permutaciones.

Esta función permite disminuir la posibilidad de que los resultados obtenidos por las regresiones no puedan ser obtenidos al azar. El QAP da como resultado los índices de correlación entre variables y los *p-values* que indican la significancia de la correlación.

Como el QAP indica correlación, no causalidad, en el análisis de resultados presentado más adelante se reflexiona acerca de la naturaleza y direccionalidad de estas correlaciones y lo que eso significa para las redes, sus actores y la efectividad de los procesos de innovación.

El análisis QAP se realizó en dos partes. Primero un análisis a nivel monádico que buscó responder a la pregunta: ¿existe una relación directa significativa entre las variables de estas redes organizacionales que proporcione información sobre cómo se estructura? Por variables se entienden las medidas de centralidad de los actores: intermediación, eigenvector, cercanía y grado.

En la segunda parte se realizó un análisis a nivel diádico, utilizando las matrices de adyacencia de vínculos comerciales (patentes) y vínculos de comercialización (PEI), con la finalidad de saber si existe una relación directa significativa entre ambas redes y los vínculos que las forman, y cómo influye esto sobre su estructura y funcionamiento.

A continuación, se presenta una descripción general de la muestra, de las patentes y los proyectos PEI con los que se trabaja, así como de las redes formadas alrededor de estos, y cómo estas estructuran el CNNL. En seguida, se muestran los resultados de las correlaciones hechas con QAP, seguidos de una discusión sobre los resultados.

RESULTADOS

Panorama general de la nanotecnología en Nuevo León

Entre el 2009 y el 2019, se llevaron a cabo 6472 proyectos PEI en México. De acuerdo a los términos recopilados por Robles-Belmont et al. (2016), 212 de esos proyectos se pueden clasificar como relacionados con el área de nanotecnología. En la tabla 3 se puede observar la distribución de los proyectos por estado. Nuevo León es por mucho el estado con la mayor

cantidad de proyectos aprobados en el área de nanotecnología, con 53.

Tabla 3.

Proyectos PEI por estado (2009-2019)

Estado	No. de proyectos PEI	Total de monto de apoyo
Nuevo León	53	\$271,169,465.00
Ciudad de México	21	\$105,926,877.00
México	21	\$100,532,316.00
Jalisco	18	\$67,268,391.00
Coahuila de Zaragoza	14	\$55,062,406.00
Guanajuato	13	\$47,154,115.00
Hidalgo	13	\$66,688,909.00
Chihuahua	12	\$67,779,798.00
San Luis Potosí	11	\$45,710,401.00
Sonora	5	\$85,751,562.00
Resto de la república	31	\$137,899,832.00
Total	212	\$1,050,944,072.00

Fuente: elaboración propia con base en CONACYT (2021a).

Estos 53 proyectos representan el 25% de los proyectos PEI en nanotecnología, y el 1% del total de proyectos financiados por el PEI a nivel nacional.

En cuanto a patentes, en el estado de Nuevo León se encontraron registradas 125 patentes en el área de nanotecnología (tabla 4). Estas fueron solicitadas por 22 organizaciones diferentes, todas radicadas en el AMM. 36 de estas patentes fueron registradas por empresas, mientras que 74 patentes fueron registradas por universidades, y solo cuatro por centros de investigación.

Por parte de las universidades, 65 de 74 patentes fueron registradas por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), por mucho la organización que más ha registrado patentes de nanotecnología en Nuevo León.

Tabla 4

Patentes registradas en el área de nanotecnología, por organizaciones radicadas en Nuevo León, 2009-2019

Tipo de organización	No. organizaciones con registro de patentes	Patentes registradas
CI	1	4
Empresa	16	36
Otro	2	9
Universidad	3	76
Total	22	125

Fuente: EPO (2021), IMPI (2021).

A partir de un rastreo de patentes, se encontró que de las 125 patentes, solo 12 tienen relación con los proyectos del PEI, específicamente con 11 proyectos del PEI (ver anexo 1). Estos recibieron \$40,981,637 pesos mexicanos como apoyo por parte del programa. Estas 12 patentes consisten en siete patentes de nuevos productos, y cinco patentes para procesos o métodos de fabricación de nuevos materiales. El registro de dichas patentes fue realizado por siete empresas: cuatro empresas grandes, dos empresas pequeñas y una empresa mediana.

El número de patentes y de proyectos no corresponde, como se observa en la tabla 5, porque hubo tanto empresas que sacaron varias patentes de un solo proyecto, como empresas que pidieron apoyos por varios proyectos y solo solicitaron, o les otorgaron, una patente. Varias de estas empresas aplicaron a la convocatoria más de una vez, con el propósito de darle continuidad a un solo proyecto y avanzar a etapas de prototipado o de escalamiento.

La relación entre proyecto y patente puede darse de dos maneras, de acuerdo a lo que se observa en el anexo 1. La primera es que la patente sea resultado de la investigación realizada durante el proyecto PEI, lo cual indicaría que el proyecto PEI sucedió primero y el registro de patente después.

Por ejemplo, en el anexo 1 se observa a la empresa número 1. Prolec, la cual tuvo un proyecto PEI aprobado en el 2010 para desarrollar aisladores nanocerámicos de alta resistencia mecánica. Después, en el 2014, Prolec registró una patente para una "composición de porcelana con óxidos cerámicos" que presenta mejoría en características mecánicas y con aplicación en aisladores eléctricos. Como se puede observar, hay una correspondencia tanto en la descripción del proyecto PEI como de la patente.

Tabla 5.

Relación de proyectos del PEI y patentes registradas entre 2009-2019

Nombre de empresa	Tamaño	Proyectos PEI	Patentes
Prolec GE	Grande	3	2
Nanomateriales/ Nanommat	Pequeña	3	3
Key Química	Grande	1	1
Vitro Vidrio y Cristal	Grande	1	1
Grupo Matsuma	Pequeña	1	1
Pinturas Térmicas del Norte	Grande	1	2
Química Pumex	Mediana	1	2
Total		11	12

Fuente: elaboración propia con base en CONACYT (2021a), EPO (2021), IMPI (2021).

La segunda manera es que el proyecto PEI haya sido utilizado para etapas posteriores a la I+D inicial: ya sea para caracterización de materiales, en donde se exploran sus propiedades, o bien hacer escalamiento a nivel planta piloto de la invención registrada en la patente, por lo que la patente tendría una fecha anterior al proyecto PEI. Siguiendo el mismo ejemplo, a Prolec en el 2015 le autorizaron un proyecto PEI para una corrida piloto de los mismos aisladores nanocerámicos, después de haber patentado el material en el 2014. En el caso de Prolec, dos proyectos PEI tienen relación con una patente, y dicho proyecto tardó cinco desde su ideación hasta su escalamiento a prueba piloto.

La red de producción de nanotecnología en Nuevo León

A partir de estos datos, se construyeron tres matrices de adyacencia y sus respectivas representaciones gráficas: la de vínculos formales a través del PEI, la de vínculos de comercialización a través de patentes, y la multiplexada, que mezcla ambas matrices. Si bien estas matrices reflejan redes a nivel organizacional, debido la naturaleza de la información disponible la red de patentes primero se construyó a nivel individual (gráfico 1a) para luego transformarse a nivel organizacional (gráfico 1b). Para ello, se utilizó la institución a la que pertenece cada actor como atributo base para colapsar los nodos.

Antes de pasar al análisis a nivel organizacional, vale la pena resaltar algunos puntos de la red individual. Esto se debe a que es difícil de apreciar las colaboraciones intraorganizacionales cuando se colapsan los nodos por organización, y como se observa en la figura 1a y 1b, el número de nodos se reduce considerablemente cuando solo se cuentan las relaciones interorganizacionales.

La primera iteración de la red de patentes (gráfico 1a) se compone de 233 investigadores, 1018 enlaces, varios sub-grupos y algunos investigadores que no presentan conexiones, lo que da como resultado una red con densidad baja y pocas conexiones, con solo un 4% de las conexiones posibles. Esta red está dominada en su mayoría por la UANL, ya que, del total de 213 investigadores y 1018 enlaces, 114

investigadores trabajan en la UANL, y 736 enlaces fueron intraorganizacionales dentro de la misma UANL.

El gráfico de la red multiplexada (gráfico 2) en donde se combinan las redes a nivel organizacional tanto la red de PEI como la de patentes, muestra un panorama general de la red de colaboración en nanotecnología del AMM. En ella se aprecia una red poco cohesiva, en donde los miembros del CNNL (resaltados en color verde) ocupan un rol central en la red a pesar de no ser mayoría, lo cual se explica a continuación.

Tabla 6

Medidas de densidad

Matrices	Densidad	Desviación Estándar	Núm. de nodos	Núm. de enlaces
Matriz 1: PEI	0.039	0.281	45	110
Matriz 2: patentes	0.071	0.577	33	99
Matriz 3: multiplexada	0.117	0.726	64	189

Fuente: Borgatti et al. (2013)

En cuanto a medidas de cohesión, esta red presenta una baja densidad entre actores, y un alto grado de homofilia. Como se observa en la tabla 6 la red multiplexada se forma de 64 nodos, entre empresas (43), universidades (13), centros de investigación (6), organismos gubernamentales (1) y otros (1), así como de 189 enlaces. Los 64 actores potencialmente podrían formar un máximo de 2016 conexiones ($d = 1$, o 100%), pero al solo tener 189, la red posee una densidad baja, del 11.7%. Por lo que en general, esta red presenta baja conectividad entre los actores.

De los 43 miembros del CNNL, solo 14 forman parte de esta red, por lo que representan a la minoría contra los otros 50 actores que no pertenecen al clúster. Con estos datos, UCINET determinó que la red multiplexada posee un E-índice de -0.514, en donde -1 es perfecta homofilia y 1 es perfecta heterofilia. Esta red se inclina más hacia la homofilia porque, dada la división entre actores dentro del clúster y fuera del clúster, los enlaces se mantienen en su mayoría entre actores de la misma clase. Es decir, que hay relativamente más enlaces del tipo clúster-clúster, o no clúster-no clúster, que clúster-no clúster.

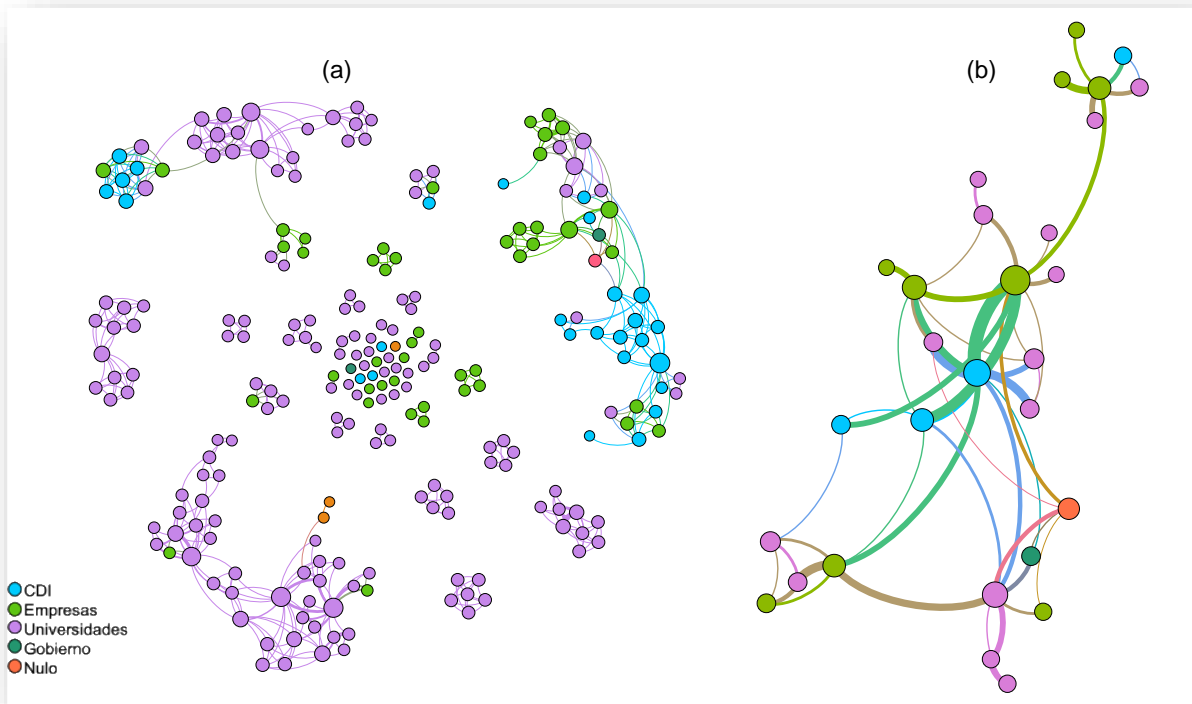


Gráfico 1a y 1b. Red de patentes a nivel individual e organizacional

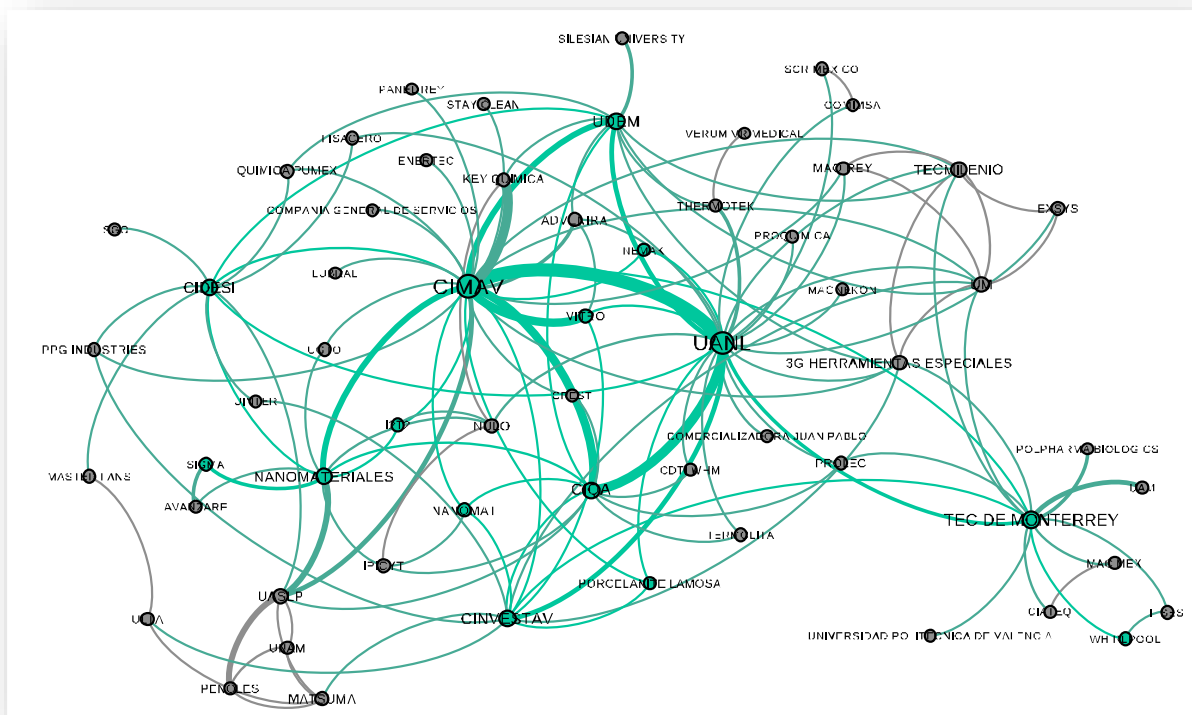


Gráfico 2. Red multiplexada a nivel organizacional

Tabla 7*Métricas de los 10 actores más centrales de la red multiplexada*

Nombre	Tipo de actor	Miembro del CNNL	Grado	Eigenvector	Cercanía	Intermediación
CIMAV	CDI	Si	91	1.0	115	667.8
UANL	Universidad	Si	90	1.0	120	578.0
CIQA	CDI	Si	38	0.7	140	112.9
NANOMATERIALES	Empresa	Si	35	0.4	150	146.5
TEC DE MONTERREY	Universidad	Si	34	0.2	137	389.4
UDEM	Universidad	Si	27	0.4	143	109.6
CINVESTAV	CDI	Si	26	0.4	134	170.9
UASLP	Universidad	No	25	0.3	152	105.5
UM	Universidad	No	17	0.2	141	19.9
VITRO	Empresa	Si	16	0.4	154	1.1

Fuente: Borgatti et al. (2013).

De acuerdo con sus métricas, la mayor parte de los actores de la red que pertenecen al CNNL poseen una alta centralidad de grado, eigenvector, intermediación y cercanía. Al menos ocho de los 14 actores del CNNL presentes en la red presentan las medidas de grado, eigenvector e intermediación más altas de la red (tabla 7), y siete de 10 presentan las medidas más bajas de cercanía (con Nanomateriales en el lugar 11). Esto implica que estos ocho actores tienen la mayor cantidad de enlaces, y por lo tanto de colaboraciones.

Así mismo, poseen la capacidad de controlar los flujos de capital e información de la red, poseen el mayor grado de influencia por sobre los demás actores, sin importar si son del clúster o no, y por su bajo índice de cercanía, pueden más fácilmente alcanzar y comunicarse con otros miembros de la red.

El gráfico 3 muestra a la red reordenada de acuerdo a la modularidad, la medida que indica qué tan conectados están los nodos por sub-grupos dentro de la misma red. Esta representación gráfica de la red permite obtener una mejor idea de la estructura general de la red.

Este gráfico divide en seis sub-grupos a los actores, tomando en cuenta la densidad de los enlaces entre ellos. El tamaño de los nodos y el grosor de sus enlaces representa su grado, mientras que el color indica qué tipo de organización es.

Cada sub-grupo está formado en su mayoría por empresas (en color amarillo) con bajos niveles de conectividad entre sí, indicados por su pequeño tamaño y enlaces delgados. Pero estas empresas, en su mayoría ajenas al CNNL, se conectan con unas cuantas universidades o CDI que sí pertenecen al CNNL. La excepción la constituye un solo grupo, conectado a los demás por la empresa Nanomateriales, también del CNNL.

Estas universidades o CDI no solo conectan estos sub-grupos, sino que sus enlaces gruesos indican que han colaborado entre sí con frecuencia. Estas anclas son, con excepción de la UASLP, todas miembros del CNNL y presentes en la tabla 7 con sus métricas altas. Esta estructura indica que, aunque los miembros del CNNL hayan colaborado repetidas veces entre sí (de ahí la homofilia de la red), estos también han expandido sus redes y colaborado en proyectos aislados con empresas fuera del clúster.

Los actores con la centralidad más alta son la UANL y el CIMAV, reflejado en su tamaño y la magnitud de sus conexiones. Como se ve en la tabla 7, el CIMAV y la UANL son los actores con mayor grado, intermediación y eigenvector. Esto quiere decir que la UANL y el CIMAV son los actores centrales y mejor conectados de la red, seguidos por la empresa Nanomateriales, y el Tecnológico de Monterrey.

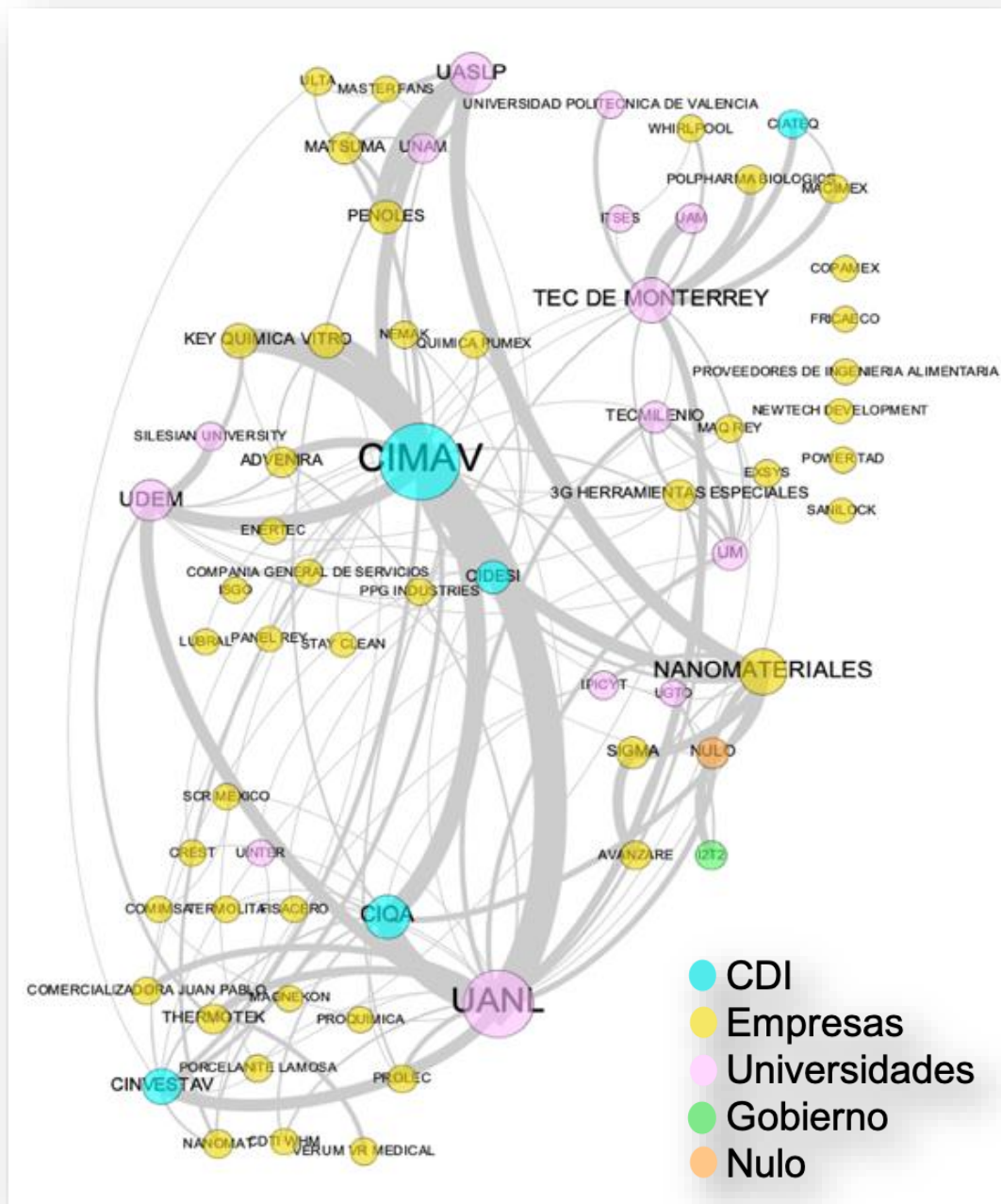


Gráfico 3. Red Multiplexada ordenada por subgrupos.

Resultados de Análisis QAP

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis realizado a través del QAP y el MR-QAP. Esta sección consta de dos partes. En la primera sección se busca responder a la pregunta: ¿existe una relación directa significativa entre las variables de estas redes organizacionales que proporcione

información sobre cómo se estructura? Para ello se hace un análisis a nivel monádico entre las variables de intermediación, eigenvector, cercanía y grado.

En la segunda parte se realiza un análisis a nivel diádico, utilizando las matrices de adyacencia de vínculos comerciales (patentes) y vínculos de comercialización (PEI), con la

finalidad de saber si existe una relación directa significativa entre ambas redes y los vínculos que las forman, y cómo influye esto sobre su estructura y funcionamiento.

Estudio monádico de la red multiplexada

Los resultados del análisis QAP para la red multiplexada se organizan en las siguientes tablas. En la tabla 8 se observan los índices de correlación entre las variables, y en la tabla 8 los *p-values* asociados a estos índices.

Con base en los valores de la tabla, se puede observar que la centralidad por cercanía presenta correlaciones significativas, pero negativas, con el resto de las variables: cercanía-grado (-0.399), cercanía-eigenvector (-0.426) y cercanía-intermediación (-0.326). Esto era de esperarse, ya que la cercanía se comporta de manera inversa a las demás variables.

Tabla 8

Matriz de correlación de variables de la red multiplexada, estudio a nivel monádico

	Intermediación	Cercanía	Grado	Eigenvector
Intermediación	1			
Cercanía	-0.326	1		
Grado	0.94	-0.399	1	
Eigenvector	0.834	-0.426	0.951	1

Fuente: Borgatti et al. (2013).

Mientras tanto, la centralidad por intermediación, eigenvector y grado presentan correlaciones significativas positivas. La dupla con el valor de correlación más alto es la de grado con eigenvector (0.951), seguida por grado con intermediación (0.94) y finalmente eigenvector con intermediación (0.834).

La tabla 9 confirma la significancia de todas estas duplas, ya que todas ellas tienen un *p-value* de 0, que entra en los rangos apropiados ($p < .001$; $p < .01$; $p < .05$).

Tabla 9

Matriz de p-values de variables de la red multiplexada, estudio a nivel monádico

	Intermediación	Cercanía	Grado	Eigenvector
Intermediación	0	0	0	0
Cercanía	0	0	0	0
Grado	0	0	0	0
Eigenvector	0	0	0	0

Fuente: Borgatti et al. (2013).

La variable de grado está directamente relacionada con la cantidad de proyectos, ya sean del PEI o patentes, en las que participa una organización. Como estos cálculos son inter-organizacionales, no se están tomando en cuenta las colaboraciones internas a la organización. Por lo que un mayor número de proyectos se reflejan directamente en un mayor número de enlaces con otros actores, y por lo tanto, un mayor grado.

Gracias a estos datos, se puede concluir que la cantidad de proyectos guarda una relación fuerte con el grado de influencia que tiene un

actor sobre los demás actores de la red, y sobre su habilidad de controlar los flujos de información y capital dentro de la red. Así mismo, un mayor número de enlaces hace que la información viaje más fácilmente, ya que proporciona más canales por los cuáles esta puede pasar.

Los valores de la relación entre la cercanía y las demás variables, si bien son significativos, no tienen valores tan altos como los demás índices. Esto puede ser resultado de la baja densidad de enlaces entre actores, que disminuye la cantidad de canales por donde

pueda pasar la información. También puede estar relacionado con la división de la red en subgrupos no tan densamente conectados entre sí, lo cual también hace difícil la circulación de información.

Estudio diádico comparativo: red de patentes versus red de proyectos PEI

En esta sección se busca evaluar si existe una relación positiva y significativa entre la estructura de la red de patentes y la red de proyectos PEI. Dado que una red representa la formación de vínculos formales, y otra la de vínculos de comercialización, es pertinente analizar si esta relación existe. Una relación positiva y significativa bien podría indicar la continuidad de los vínculos por proyectos PEI hacia una etapa más cercana a la comercialización, como son las patentes.

Si existe una relación positiva y significativa entre ambas redes, el QAP debería arrojar un índice de correlación positivo mayor a 0.3 y con un *p-value* significativo, que indique la congruencia entre sus canales de transferencia de conocimiento y de comercialización/aplicación de conocimiento.

Tabla 10

Matriz de correlación QAP, estudio a nivel diádico

Variables	Red de patentes	Red de proyectos PEI
Red de patentes	1	
Red de proyectos PEI	-0.0001	1

Fuente: Borgatti et al. (2013).

En la tabla 11 se puede observar que el valor de la correlación es de -0.0001, un valor mucho menor a 0.3, por lo que no se puede establecer una correlación positiva. Además, en la tabla 10 se muestra un *p-value* que indica que la relación no se puede considerar significativa (0.303).

Tabla 11

Matriz de p-values, estudio a nivel diádico

Variables	Red de patentes	Red de proyectos PEI
Red de patentes	1	
Red de proyectos PEI	0.344	1

Fuente: Borgatti et al. (2013).

DISCUSIÓN

La nula correlación entre ambas redes, de vínculos formales y de comercialización, implica que los vínculos formales establecidos durante los proyectos PEI no necesariamente evolucionan a vínculos de comercialización. Esto es congruente con el hecho de que en el estado de Nuevo León pocas patentes se relacionan con proyectos PEI: solo se identificaron 12 patentes, de un total de 125 patentes, relacionadas con 11 proyectos PEI, de un total de 53 proyectos PEI (ver anexo 1).

Esta falta de continuidad puede darse a causa de varios factores. Uno de ellos puede ser que el resto de los proyectos PEI cumplieron los objetivos originales que causaron a la empresa buscar la vinculación en primer lugar, y estos no requerían de patentes. Si lo que buscaba la empresa era algo como la solución a un problema en su cadena de producción, y no un nuevo producto, un nuevo proceso de fabricación, o un diseño de dispositivo novedoso que requiera de una patente, entonces éstas no son absolutamente necesarias para cumplir con los entregables del proyecto.

Por un lado, esto concordaría con el objetivo inicial del CNNL, el cuál era acercar al sector académico/científico con las empresas, para que las primeras pudieran darles soluciones a sus problemas con base en investigación en el área, y que las segundas pudieran adoptar la nanotecnología en sus procesos (CECIC, 2005). Si bien lo ideal sería que se adoptara un modelo cercano a la segunda fase de la Triple Hélice III, en donde los actores colaboran en sinergia y se consideran iguales, la realidad es que el CNNL fue diseñado para que el sector académico/científico estuviera al servicio del sector industrial, una dinámica enfocada en integrar nanotecnología para solucionar las necesidades inmediatas de las empresas. El sector industrial y el científico son más bien parte del entorno institucional de apoyo para las empresas.

Por otro lado, el enfoque en la empresa implica un enfoque en sus protocolos de soluciones cortoplacistas que favorecen el sector industrial, pero menoscaban el desarrollo de la innovación en el área de nanotecnología, o cualquier otra tecnología emergente, a largo plazo. Si las empresas solo invierten en solución de problemas inmediatos y la compra de tecnología, en lugar de invertir en transferencia de know-how y la apropiación de propiedad intelectual en forma de patentes, esta inversión insuficiente disminuye el volumen de innovación, además de crear barreras al crecimiento y a la competitividad (Wood et al, 2014).

La nula correlación entre redes formales y de comercialización deja abierta la cuestión de los proyectos de innovación con orígenes en redes informales. La gran mayoría de las patentes registradas no tienen su origen en proyectos PEI: si de 125 patentes de nanotecnología, 12 se originan en proyectos PEI, y 74 son patentes registradas por universidades sin vinculación con otros sectores, entonces al menos 39 son resultado de proyectos de I+D formados por empresas a través de otros canales, formales e informales, que no se pueden detectar a partir de las bases de datos utilizadas aquí. El enfoque en vínculos formales es la mayor limitante de este estudio: un análisis a profundidad de estas patentes requeriría de un enfoque cualitativo para recopilar más información.

Otra de las razones por las que los vínculos formales del PEI no se traducen en vínculos de comercialización pudiera ser la dependencia hacia el PEI que muchas empresas han desarrollado (Villavicencio et al., 2020), al grado que aplican cada año de manera sistemática al programa, ya sea para emprender más proyectos o para darle continuidad a uno solo. Como se observa en el anexo 1, a veces hace falta más de un proyecto PEI para poder generar una patente, o avanzar el proyecto hasta una etapa de escalamiento. Pero la participación en el PEI no es una garantía de éxito en un proyecto de innovación. Si a las empresas que ya dependen del PEI no les vuelven a aprobar su participación en el programa, es probable que éstas decidan no invertir de su propio bolsillo, y por lo tanto los

proyectos ya iniciados no avancen. Además, hay que considerar en el país son escasas otras formas de financiamiento para la innovación, como capital ángel o créditos flexibles, y que pocas empresas, especialmente las pequeñas y medianas, cuentan con las capacidades de innovación para darle continuidad a proyectos de nanotecnología por sí solas.

Desde la década de 1990 Casalet y Casas (1997) advertían que en México el sector industrial tiende a invertir muy poco en CTI, y estudios más recientes como los de Medina et al. (2016) y Villavicencio et al. (2020) confirman que la tendencia se ha mantenido, y el sector industrial actual no invierte lo suficiente para mantenerse competitivo a nivel global. La estructura actual del PEI, y la falta de mecanismos alternativos de apoyo y programas de seguimiento, así como la falta de otras formas de financiamiento fuera del PEI, no contribuyen a que las empresas puedan continuar con sus estrategias de innovación, y a que le den continuidad a los vínculos establecidos con instituciones académicas o científicas para el desarrollo de innovación.

Así mismo, el que la mayoría de las patentes hayan sido registradas por una sola universidad, la UANL, sin la participación de empresas u otras instituciones, implica que la transferencia de conocimiento necesaria para que estas innovaciones puedan comercializarse o aplicarse no ha ocurrido. La UANL registró el 52% de las patentes y, a pesar de tener una alta centralidad de grado cuando se analiza a nivel organizacional, realizó una gran parte de sus investigaciones sin colaborar con otras organizaciones. Esto se aprecia mejor en el gráfico 4, que es la red de patentes ya presentada, pero a nivel individual, con los investigadores de la UANL resaltados. La mayoría de los nodos de la UANL se conectan solamente entre sí, y hay muy pocos enlaces fuera de la misma organización. Si la UANL es responsable del 52% de las patentes de nanotecnología registradas en la entidad, y la mayoría de sus patentes fueron realizadas sin vincularse con la industria, esto podría indicar que gran parte de las patentes no tuvieron aplicación industrial ni llegaron a una etapa de comercialización.

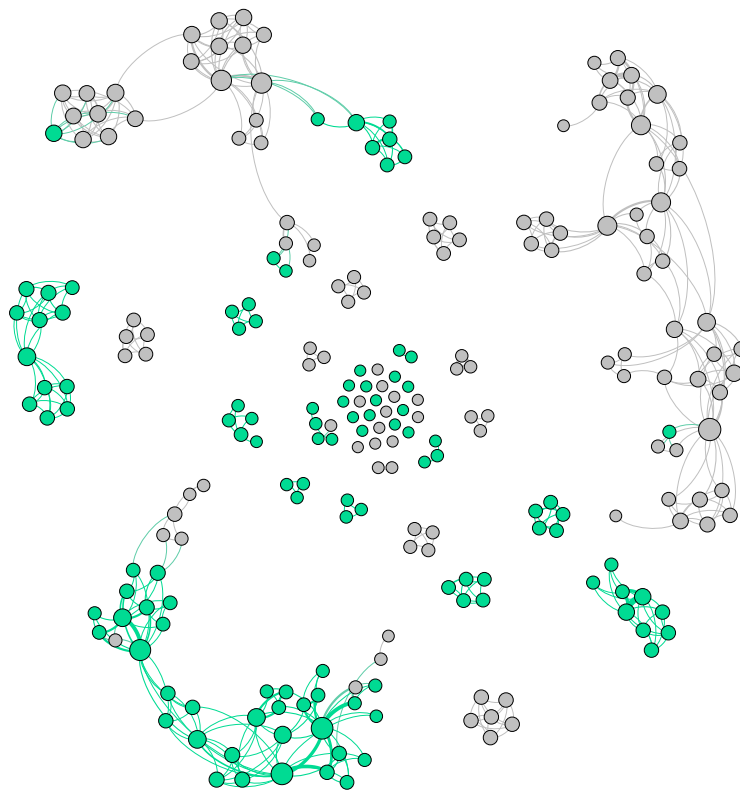


Gráfico 4. Red de patentes a nivel individual, con actores de la UANL resaltados.

La alternativa para que estas innovaciones lleguen al mercado sería que se licencien a empresas post-registro de patente, o bien que se creen empresas *spin-off* de la universidad que puedan aplicar o comercializar las innovaciones. Sin embargo, la creación de *spin-offs* universitarias es todavía una práctica relativamente reciente en el país, y por lo mismo éstas todavía son escasas (Maldonado-Sada et al., 2019).

En este estudio se encontró que son las universidades y los CDI miembros del CNNL los que estructuran y dominan la red de producción de nanotecnología en el estado de Nuevo León. Sus medidas indican alta centralidad y poder dentro de la red, y la estructura muestra que las empresas buscan conectarse con estas instituciones. La mayoría de los actores centrales de la red coinciden con los actores que desde la concepción del proyecto MTYCIC fueron instrumentales en la creación del CNNL: la UANL, el CIMAV, el Tec de Monterrey, el CIQA y el CINVESTAV fueron miembros fundadores del CNNL, y poseen instalaciones en el PIIT planeadas junto con la construcción del mismo. Siguiendo el modelo de la TH, en este caso las universidades son las instituciones estratégicas para la innovación en el área, así como los actores híbridos como los CDI, considerados la cuarta hélice.

Al tratarse de un sector emergente de alta tecnología, gran parte del poder que las universidades y CDI poseen en la red proviene del conocimiento de frontera que generan sus investigadores, y de la infraestructura de laboratorio, equipamiento, materiales a las que tienen acceso, y que el sector industrial no posee. Por su relativa novedad, su desarrollo a nivel industrial sigue siendo incipiente, y si las empresas quieren implementar innovaciones nanotecnológicas en su cadena de valor, la vinculación con el sector académico/científico es necesaria.

Robles-Belmont (2009) afirma que usualmente las redes formadas entre investigadores de nanotecnología mexicanos han servido para sobrellevar la insuficiencia de infraestructura e instrumentación de los laboratorios y centros de investigación públicos y privados. Por su parte, Villavicencio et al. (2020) aseveran que, en el caso de vinculación realizada mediante el PEI, ésta es principalmente motivada por la necesidad de las empresas de tener acceso tanto a la infraestructura como al conocimiento de frontera. En este caso, las empresas que quieren incorporar nanotecnología, pero no se especializan en el sector son las que cuentan con una deficiencia de conocimiento e infraestructura, y necesitan de estas redes con el sector académico/científico.

Es por estas razones que el CIMAV, la UANL, el Tec de Monterrey y la UASLP son los actores que cuentan con las medidas de grado, intermediación y eigenvalor más altas en las redes, porque las empresas que se interesan en incorporar nanotecnología a sus productos o procesos las buscan para colaborar. Primero debido a su infraestructura que estas instituciones no poseen, y segundo, por el conocimiento de frontera que generan en gran parte por el acceso que les da esta infraestructura.

En términos de infraestructura, la UANL cuenta con un edificio entero dedicado a la investigación en nanotecnología y la mayor cantidad de investigadores en la materia en el estado; el CIMAV posee un plantel entero y e instalaciones totalmente dedicadas a la ciencia de los materiales; el Tec de Monterrey y la UASLP¹ cuentan con carreras y posgrados en nanotecnología, así como laboratorios dedicados a ella. La empresa Nanomateriales también ocupa un lugar central en la red de patentes, y eso se debe a que ha invertido en infraestructura de producción de nanomateriales que otras empresas no tienen.

Nanomateriales, es otro actor con alta centralidad en la red. Esta empresa, y su spin-off Nanomat, fueron creadas en la Incubadora de Nanotecnología que forma parte del CNNL, eventualmente se unió al CNNL y ahora es la única empresa especializada en nanotecnología del clúster. Su éxito fue tal que en el 2020 fue adquirida por grupo Xignux, quienes inyectaron capital, le cambiaron el nombre a Nanoqem, y la han seguido creciendo. El caso de esta empresa constituye un caso de éxito para el CNNL.

CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que, en el caso del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León, existen varias brechas que dificultan el desarrollo de innovación efectiva en tecnologías emergentes. La brecha entre los proyectos financiados con el PEI y las patentes resultantes de los mismos, que indica ineficiencia en la administración de recursos. La brecha entre las patentes registradas solamente por universidades y las registradas por empresas vinculadas con universidades y/o

centros de investigación, que implica una falta de vinculación entre sectores. Y la brecha entre los vínculos formales y los vínculos de comercialización existentes en las redes de los miembros del CNNL, que es muestra de que existen factores internos y externos a estas redes de actores que entorpecen la transferencia de conocimiento hasta su etapa de comercialización, los cuáles podrían profundizarse en futuros estudios.

A pesar de que los vínculos formales no necesariamente se traduzcan en vínculos de comercialización, la estructura de las redes aquí presentadas demuestra no solo la estructura interna del CNNL, sino sus conexiones con empresas e instituciones fuera del mismo. Las redes de los gráficos 1^a, 1b, 2 y 3 muestran a los actores del CNNL al centro y empresas ajenas al CNNL en la periferia. Esta organización responde a los esfuerzos por estructurar un modelo territorial enfocado en la CTI como herramienta para mejorar la competitividad a nivel regional, establecidos por la política pública en el PECYT 2003-2009 y en el Proyecto MTYCIC (CECIC, 2005).

Los clústeres estratégicos como el CNNL fueron ideados como una manera de promover la cooperación y la transferencia de conocimiento entre la Triple Hélice, y de facilitar el acercamiento de las empresas de la región a los centros de investigación y universidades para que estas pudieran adoptar nanotecnología en sus desarrollos. Aunque en comparación con otros sectores más tradicionales la escala de la vinculación deja mucho que desear, el que haya vinculación entre empresas del clúster y empresas ajenas al clúster implica que este acercamiento propuesto por el PECYT es un proceso que sí ha tenido lugar.

Este trabajo da pie a futuros estudios. Primero, a una continuación del análisis de redes que utilice métodos cualitativos para rastrear las redes a nivel individual, así como añadir información de primera mano por parte de los investigadores sobre el funcionamiento y formación de estas redes. Segundo, un análisis sobre los canales de difusión de la nanotecnología. La estructura de la red multiplexada, la conexión entre pocas universidades y centros de investigación con un gran número de empresas por enlaces que

¹ El Tecnológico de Monterrey cuenta con un laboratorio en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), compuesto de dos pisos de equipamiento y maquinaria en donde se desarrolla nanotecnología, entre otras disciplinas. Por su parte la UASLP, a través de la Coordinación

para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT), construyó un complejo con seis pisos con equipo y maquinaria dedicados a la CTI. Uno de esos pisos está complementado a la nanotecnología.

indican colaboraciones ocasionales, indica que el interés por la nanotecnología ha crecido en el estado más allá de las empresas inicialmente interesadas en el tema, es decir, los miembros originales del CNNL. Habría que averiguar si los esfuerzos del CNNL por difundir los beneficios de la nanotecnología dieron frutos, y resultó en empresas ajenas queriendo colaborar, o si existen otros canales de difusión alternos.

Por último, considerando la coyuntura actual de pandemia por el COVID-19, sería interesante explorar el impacto de la misma sobre los vínculos encontrados en este estudio, si han continuado, cesado o transformado, y sobre los esfuerzos de innovación llevados a cabo por los actores.

REFERENCIAS

- Aarikka-Stenroos, L., Sandberg, B., & Lehtimäki, T. (2014).** Networks for the commercialization of innovations: A review of how divergent network actors contribute. *Industrial Marketing Management Networks*, 43(3), 365-381. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2013.12.005>.
- Armendáriz, E. (2004).** Monterrey: Ciudad Internacional del Conocimiento. *Ciencia UANL*, 7(3), 389-398.
- Arvanitis, S., Kubli, U., & Wörter, M. (2006).** Determinants of Knowledge and Technology Transfer Activities Between Firms and Science Institutions in Switzerland: An Analysis Based on Firm Data. *Swiss Institute for Business Cycle Research Working Papers*, N° 116 (p. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.892575>). RePec.
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009).** *Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks*. International AAAI Conference on Weblogs and Social Media.
- Becattini, G. (2002).** Del distrito industrial marshalliano a la «teoría del distrito» contemporánea. Una breve reconstrucción crítica. *Investigaciones Regionales*(1), 9-32.
- Bonacich, P. (1972).** Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification. *Journal of Mathematical Sociology*(2), 113-130. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/0022250X.1972.9989806>.
- Borgatti, S., & Everett, M. (1998).** Network measures of Social Capital. *Connections*, 21(2), 27-36.
- Borgatti, S., Everett, M., & Johnson, J. (2013).** *Analyzing Social Networks*. Londres: SAGE.
- Bourdieu, P., & Wacquant, L. (1992).** *An Invitation to Reflexive Sociology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bressan, C., Matta, A. (2003).** Difusión de conocimientos e innovación en el clúster electrónico de Córdoba: análisis de las firmas miembro de una asociación empresarial. *REDES- Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 26(2), 206-235. doi: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/redes.568>
- Burt, R. (1992).** *Structural Holes: The Social Structure of Competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Burt, R. (2005).** The social capital of structural holes. In M. Guillén, R. Collins, P. England, & M. Meyer, *The New Economic Sociology: Developments in an Emerging Field* (pp. 201-247). Russell Sage Foundation.
- Casalet, M., & Casas, R. (1997).** *Un diagnóstico sobre la vinculación universidad-empresa*. México: CONACYT-ANUIES.
- CECIC. (2005).** *Nuevo León competitivo: programa regional de competitividad e innovación*. Monterrey: Nuevo León. Gobierno del Estado.
- Coleman, J. (1990).** *Foundations of Social Theory*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- CONACYT. (2021a).** Programa de Estímulos a la Innovación, Padrón de Beneficiarios. Consultado en CONACYT: <https://www.conacyt.gob.mx/Programa-de-estimulos-a-la-innovacion.html>
- CONACYT. (2021b).** Fondo de Innovación Tecnológica (FIT), Padrón de beneficiarios. Consultado en CONACYT: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondo-s-sectoriales-constituidos2/item/fondo-de-innovacion-tecnologica-fit>
- CONACYT. (2021c).** Fondos Sectoriales, Padrón de Beneficiarios. Consultado en CONACYT: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondo-s-y-apoyos/fondos-sectoriales>
- CONACYT. (2021d).** PROSOFT - INNOVACIÓN, Fondo Sectorial de Innovación, Padrón de Beneficiarios. Consultado en CONACYT: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondo-s-sectoriales-constituidos2/item/economia-conacyt-2>
- CONACYT. (2021e).** SEP - CONACYT / Investigación Básica, Padrón de Beneficiarios.

Consultado en CONACYT:
<https://www.conacyt.gob.mx/Sep-conacyt-investigacion-basica.html>

CONACYT. (2021f) Sistema de Centros Públicos de Investigación CONACYT. Consultado en CONACYT: <https://centrosconacyt.mx/quienes-somos/>.

Cooke, P. (2001). Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, 10(4), 945-974. doi: <https://doi.org/10.1093/icc/10.4.945>.

Crane, D. (1972). *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*. Chicago: The Chicago University Press.

Cuevas, V., Espejel, A., Moctezuma, G., Rosales, C., & Tapia, A. (2017). Análisis de las redes de financiamiento del sistema nacional de innovación agropecuaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1297-1309.

Dahl, M., & Pedersen, C. (2003). Knowledge Flows Through Informal Contacts in Industrial Clusters: Myths or Realities. *DRUID Working Papers 03-01*. Copenhagen: DRUID, Copenhagen Business School.

De Prato, G., & Nepelski, D. (2014). Global technological collaboration network: Network analysis of international co-inventions. *The Journal of Technology Transfer*, 39, 358-375. doi: <https://doi.org/10.1007/s10961-012-9285-4>.

Diessler, G. (2010). Las patentes como fuente de información para la innovación en entornos competitivos. *Información, cultura y sociedad*(22), 43-77.

Diez, J.I. (2008). Organizaciones, redes, innovación y competitividad territorial: análisis del caso Bahía Blanca. *REDES- Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 14(3), 1-31.

Dutrénit, G., De Fuentes, C., & Torres, A. (2010). Channels of interaction between public research organisations and industry and their benefits: Evidence from Mexico. *Science and Public Policy*, 37(7), 513-526. doi: <http://dx.doi.org/10.3152/030234210X512025>.

EPO. (2021). European Patent Register. Consultado en EPO <https://register.epo.org/advancedSearch?lng=en>.

Etzkowitz, H. (2002). Networks of Innovation: Science, Technology and Development in the Triple Helix Era. *International Journal of Technology Management & Sustainable Development*, 1(1), 7-31.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1996). Emergence of a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Science and Public Policy*, 23, 279-286.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1997). *Universities and the Global Knowledge Economy: A Triple Helix of University-Industry Relations*. London: Pinter.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29, 109-123. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)

Freeman, L. (2004). *The Development of Social Network Analysis*. North Charleston, NC: Booksurge, LLC.

Freeman, L. (1979). Centrality in social networks: conceptual clarification. *Social Networks*(1), 215-239. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](http://dx.doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7).

García Macías, A. (2003). Redes sociales y "clusters" empresariales. *REDES- Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 1(6), 1-20.

González, J. (2011). El Clúster de Nanotecnología de Nuevo León: estrategia y operación. *Mundo Nano*, 4(1), 18-22.

González de la Fe, T. (2009). El modelo de Triple Hélice de relaciones universidad, industria y gobierno: un análisis crítico. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 739-755. doi: <http://doi.org/0.3989/arbor.2009.738n1049>

Granovetter, M. (1973). The strenght of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360-1380. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/225469>.

Guan, J., & Shi, Y. (2012). Transnational citation, technological diversity and small world in global nanotechnology patenting. *Scientometrics*, 93(3), 609-633. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-012-0706-9>.

Guan, J., & Zhao, Q. (2013). The impact of university-industry collaboration networks on innovation in nanobiopharmaceuticals. *Technological Forecasting & Social Change*, 80(7), 1271-1286. doi: <http://dx.doi.org/0.1016/j.techfore.2012.11.013>.

Gulbrandsen, M. (2011). Research institutes as hybrid organizations: Central challenges to their legitimacy. *Policy Sciences*, 44(3), 215-230. doi: <http://doi.org/10.1007/s11077-011-9128-4>

- Hanneman, R., & Riddle, M. (2005).** *Introduction to Social Network Methods*. Riverside, CA: University of California.
- Houghton, J., & Sheehan, P. (2000).** A Primer on the Knowledge Economy. *CSES Working Paper No. 18* (pp. 1-24). Melbourne: Victoria University of Technology.
- IMPI. (2021).** Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Consultado en *Marcanet*: <https://marcanet.impi.gob.mx:8181/marcanet/>
- Kolleck, N. (2013).** Social network analysis in innovation research: using a mixed methods approach to analyze social innovations. *European Journal of Futures Research*, 1(25), 24-33. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11618-014-0551-0>.
- Lee, W., Lee, W., & Sohn, S. (2016).** Patent network analysis and quadratic assignment procedures to identify the convergence of robot technologies. *PLoS ONE*, 11(10), 1-16. doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165091>.
- Liu, X., Jiang, S., Chen, H., Larson, C., & Roco, M. C. (2014).** Nanotechnology knowledge diffusion: measuring the impact of the research networking and a strategy for improvement. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(9), 1-15. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-014-2613-x>.
- Lundvall, B. (1992).** *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Londres: Pinter Publishers.
- Maldonado-Sada, M., Caballero-Rico, F., & Ruvalcaba-Sánchez, L. (2019).** Retos para las spin-off académicas en México como resultado de la valorización económica de I+D+i de las universidades. *CienciaUAT*, 14(1), 85-101. doi: <http://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1136>
- Márquez, T. (2005).** Aprovechamiento de la información tecnológica contenida en patentes para el desarrollo de la ciencia y las empresas. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*, 11(1), 185-207.
- Martin, R., & Sunley, P. (2003).** Deconstructing Clusters: Chaotic Concept or Policy Panacea? *Journal of Economic Geography*, 3(1), 5-35.
- McPherson, M., Smith-Lovin, L., & Cook, J. M. (2001).** Birds of a feather: Homophily in Social Networks. *Annual Review of Sociology*, 27, 415-444.
- Medina, R., & Villegas, E. (2016).** Financiamiento de la ciencia, la tecnología y la innovación en las regiones de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38(20), 253-270.
- Moctezuma, P., López, S., & Mungaray, A. (2017).** Innovación Y Desarrollo: Programa De Estímulos a La Innovación Regional En México. *Problemas del Desarrollo*, 48(191), 133-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rpd.2017.11.007>.
- Molina, J.L., Lubbers, M.J., Briansó, J.L., Ruiz, A.A. (2010).** Colaboración en ciencia-tecnología entre España/Unión Europea y América Latina. Tendencias en biotecnología, ciencia de los alimentos y nanomateriales. *REDES- Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 19(1), 1-19.
- Moreno, R., & Contreras, O. (2010).** La ciudad del conocimiento: entre slogans y realidades. In L. Palacios, *La globalización: permanencias y cambios en el Área Metropolitana de Monterrey* (pp. 131-151). Monterrey: UANL.
- Mungaray, A., López, S., & Moctezuma, P. (2013).** La adicionalidad de los Fondos Públicos en la Innovación Empresarial Mexicana: El Caso de Baja California, 2001-2010. *Revista de la Educación Superior*, 42(167), 41-62.
- Muñoz, A. (2017).** *El efecto del Programa de Estímulos a la Innovación en la competitividad de las empresas en los estados de Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato y Querétaro* [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación y Docencia Económicas A.C.]. Repositorio Digital CIDE.
- NanoTechnology Cluster. (2021).** Nosotros. Consultado en *NanoTechnology Cluster*: <http://clusternano.com>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995).** *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. New York: Oxford University Press.
- OMPI. (2021).** Patentes: Conceptos básicos. Consultado en *Organización Mundial de la Propiedad Intelectual*: https://www.wipo.int/patents/es/faq_patents.html
- Quimet, M., Landry, R., & Amara, N. (2004).** *Network Positions and Radical Innovation: a social network analysis of the Quebec optics and photonics cluster*. DRUID Summer Conference 2004 on Industrial Dynamics, Innovation and Development. Helsingør.
- Parada, J. (2009).** *Monterrey. Internacional City of Knowledge Program*. In C. Wessner, *Understanding Research, Science and*

Technology Parks: Global Best Practice: Report of a Symposium. Washington: National Research Council.

Pérez Beltrán, J., Valerio Ureña, G., & Rodríguez Aceves, L. (2015). Producción Intelectual En Grupos De Investigación. *Perfiles Educativos*, 37(150), 124-142.

Perkmann, R., & Walsh, M. (2007). Relationship-based University-industry Links and Open Innovation: Towards a Research Agenda. *International Journal of Management Reviews*, 9(4), 259-280. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00225.x>.

PIIT. (2021). Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT). Consultado en PIIT: <https://piit.com.mx/>

Pinhero, M., Lucas, C., & Pinho, J. (2015). Social network analysis as a new methodological tool to understand university-industry cooperation. *International Journal of Innovation Management*, 19(1), 1-15. doi: <http://dx.doi.org/10.1142/S136391961550013>

Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Londres: Macmillan.

Quadrona, A. (2020). El Clúster de la Semilla: un abordaje desde el Análisis de Redes de Políticas Públicas. *Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 31(20), 124-136. doi: <http://doi.org/10.5565/rev/redes.869>.

Robles-Belmont, E. (2009). Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías. *Redes*, 15(29), 93-111.

Robles-Belmont, E., Foladori, G., Arteaga Figueroa, É., Záyago Lau, É., Appelbaum, R., & Parker, R. (2016). Patentes e innovación de nanotecnologías en México Investigación. In G. Foladori, N. Invernizzi, & É. Záyago Lau, *Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina* (Vol. 24, pp. 201-231). Zacatecas: Universidad de Zacatecas.

Rodríguez-Moroño, P. (2012). Análisis relacional del capital social y el desarrollo de los sistemas productivos regionales. *REDES-Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 23(9), 261-290.

Sanz, L. (2003). Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. *Apuntes de Ciencia y Tecnología*(7), 21-27.

Saxenian, A. (1990). Regional Networks and the Resurgence of Silicon Valley. *California Management Review*, 33(1), 89-112. doi:<http://dx.doi.org/10.2307/41166640>.

Scott, J. (1991). *Social Network Analysis. A handbook*. Londres: Sage.

SEGOB. (2014). *Programa Institucional 2014-2018 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Simmel, G. (1908). Group Expansion and the development of Individuality. In D. Levine, *Georg Simmel on Individuality and Social Forms* (pp. 251-293). Chicago: Chicago University Press.

Solís, A., Ovando, M., Olivera, E., & Rodríguez, M. (2018). Evaluación Del Impacto De La Política Pública "Programa De Estímulos A La Innovación", En El Contexto De Propiedad Industrial En México. *European Scientific Journal*, 14(4), 172-192. doi: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n4p172>.

Stezano, F. (2012). Construcción de redes de transferencia ciencia-industria en el sector de biotecnología en México. Estudio de caso sobre las vinculaciones tecnológicas entre investigadores de CINESTAV Irapuato y LANGEPIO y empresas del sector agrobiotecnológico. *Estudios Sociales: Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 20(39), 9-38.

Suárez, M. (2013). Espacios Transnacionales de Conocimiento a Través de la Formación de Redes en Nanotecnología. *Journal of Technology Management and Innovation*, 8(3), 304-310. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-27242013000300055>.

Viale, R., & Ghiglione, V. (1998). The Triple Helix model: a tool for the study of European Regional Socio Economic Systems. *The IPTS Report, European Commission* (29), 1-8.

Villavicencio, D. (2020). *Inversión en conocimiento a través de los proyectos apoyados por el Programa de Estímulos a la Innovación de CONACYT*. Ciudad de México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis. Theory and application*. Cambridge: Cambridge University Press.

Wood, D., Wilson, C., & García, A. (2014). *Fomentando la Innovación en México*. Foro de Innovación de Alto Nivel para Creadores de Política. Washington: Wilson Center Mexico Institute.

Yoon, B., & Park, Y. (2004). A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend. *Journal of High Technology Management Research*, 15(1), 37-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2003.09.003>.

Záyago-Lau, E., & Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. *Economía, sociedad y territorio*, 10(32), 143-178.

Záyago-Lau, E. (2011). Cluster nanotecnológico en Nuevo León México. Reflexiones de pertinencia social. In H. Márquez, R. Soto, & E. Záyago-Lau, *El desarrollo perdido. Avatares del capitalismo*

neoliberal en tiempos de crisis (pp. 319-333). Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa.

Zheng, J., & Cui, W. (2013). International Collaboration in Nanotechnology from 1991 to 2010 Based on Patent Analysis. *Advanced Materials Research*, 771(1), 119-124. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.771.119>.

Remitido: 02-07-2021

Corregido: 29-07-2022

Aceptado: 05-08-2022



Anexo 1.

Relación entre la información de proyectos PEI y el registro de patentes en nanotecnología, por empresas radicadas en Nuevo León (2009-2019)

Empresa/ tamaño	Proyectos PEI		Patentes	
	Año	Título	Año	Número/Descripción
1. Prolec (Grande)	2010	Desarrollo y caracterización de nanofluidos para transformadores eléctricos	2012	MX/a/2012/012392 Aceite mineral dieléctrico adicionado con nanohojuelas de grafeno para transformadores eléctricos, para mejorar la conductividad térmica y estabilidad.
	2010	Desarrollo de aisladores nanocerámicos de alta resistencia mecánica	2014	MX/a/2014/014665 Composición de porcelana con óxidos cerámicos en tamaño nanométrico, que presenta mejores características mecánicas y dieléctricas, y cuya aplicación primordial es en componentes eléctricos, como lo son los aisladores eléctricos.
	2015*	Desarrollo de aisladores cerámicos nanoestructurados de alto desempeño. Etapa III, corrida piloto		
2. Nanomateriales/Nanomaterial (Pequeña)	2012*	Escalamiento a nivel industrial de la fabricación de productos cerámicos como sanitarios y piso con nanopartículas metálicas soportadas en TiO ₂ (dióxido de titanio) y sus prototipos desarrollados a nivel piloto y pre-industrial.	2011	MX/a/2011/013864 Proceso para la aplicación de esmaltes antibacteriales y antimicrobianos a base de partículas de dióxido de titanio en fase rutilo recubiertas de nanopartículas de plata sobre productos cerámicos
	2014	Desarrollo de nanocompuesto polimérico en máster <i>batch</i> a base de nanopartículas metálicas y cerámicas con propiedades antibacterianas para su uso en enseres domésticos	2016	MX/a/2014/016091 Aditivo nanocompuesto antimicrobiano y método de incorporación de poliestireno de alto impacto y otros polímeros termoplásticos para brindarles propiedades microbicidas.
	2015	Optimización tecnológica y escalamiento a nivel pre-industrial de nanoaditivo antimicrobiano y que disminuye la temperatura de sinterización para reducción de costos en la industria cerámica	2017	MX2017004430 (a) Método para la preparación de óxidos de metal nanométricos que disminuye la temperatura de sinterización y/o incrementan la productividad del proceso de manufactura de piezas cerámicas, y mejoran las propiedades mecánicas sin afectar las propiedades de vitrificación de los cuerpos cerámicos, losas o recubrimientos.
3. Key Química (Grande)	2013	Desarrollo de tecnología propia para la elaboración de nuevo recubrimiento para pisos de concreto de secado rápido, resistencia a la radiación UV y abrasión, a base de nanotecnología	2014	MX/a/2014/015801 Recubrimiento para pisos duros, que mejora la resistencia ante la abrasión y evita el deterioro causado por la radiación UV de dichos pisos.
4. Vitro Vidrio y Cristal (Grande)	2016	Desarrollo de una nueva formulación de vidrio aplicando nanotecnología que presenta ventajas ecológicas y de ahorro energético	2018	MX/a/2018/010930 Un recubrimiento con propiedades de control solar para un sustrato y, un método y sistema para depositar dicho recubrimiento sobre el sustrato, para fabricar vidrios recubiertos de uso arquitectónico, automotriz, monolíticos o laminados que presentan propiedades de control solar. También se refiere, al método para la obtención del recubrimiento por la técnica depósito químico de vapor asistido por aerosol.

5. Grupo Matsuma (Pequeña)	2015	Nanopartículas magnéticas de Fe-Ga-Co ²⁺ para su uso en el tratamiento de cáncer por hipertermia.	2016	MX/a/2016/000521 Proceso para sintetizar materiales nanoestructurados basados en la introducción de cationes de Co ²⁺ en ferritas de galio (Fe-Ga-Co ²⁺), con aplicaciones en áreas biomédicas, como la detección de cáncer mediante la técnica de imágenes en resonancia magnética.
6. Pinturas Thermicas del Norte (Grande)	2015	IDTI de nanomaterial antimicrobial aplicado en impermeabilizante para control de bacterias y hongos	2016	MX/a/2016/001180 Método de preparación de materiales nanoestructurados de alta actividad antimicrobiana basados en óxido de hierro y dióxido de titanio. El método para obtenerlo es por coprecipitación controlada para control del tamaño de partícula y su posterior oxidación a óxido férrico por un agente oxidante como lo es el peróxido de hidrógeno.
			2016	MX/a/2016/003231 Impermeabilizante con actividad antimicrobial para el abatimiento de biocontaminantes atmosféricos y su método de preparación, mediante adición de nanopartículas de óxido de titanio dopadas con nanopartículas de óxido de hierro las cuales tienen la propiedad de eliminar agentes patógenos presentes en la atmósfera.
7. Química PUMEX (Mediana)	2013	Nano espuma disruptiva de poliuretano con alta resistencia mecánica elaborada con sistema piloto automatizado, para gaseoductos, carrotanques y autopartes.	2013	MX/a/2013/015377 Espuma rígida de poliuretano de alta resistencia a la compresión modificada con nanopartículas.
			2013	MX/a/2013/015387 Procedimiento para incorporación homogénea y estable de nanopartículas en espumas rígida de poliuretano, a partir de la dispersión de nanopartículas mediante el uso de ultrasonido.

Fuente: elaboración propia con base en EPO (2021), IMPI (2021), CONACYT (2021a).

*En este caso, el proyecto PEI se aprobó después de la patente para escalar el proyecto.