

Análisis de una Red Científica en México¹

Magali Cárdenas Tapia

Doctora en Ciencias de la Administración

Instituto Politécnico Nacional

México, D.F.

Correo electrónico: mcardenast@ipn.mx

Enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1657-9320>

Luis Arturo Rivas Tovar

Doctor en Ciencias Administrativas

Instituto Politécnico Nacional

México, D.F.

Investigador Nacional de CONACYT nivel II

Correo electrónico: larivast@ipn.mx

Enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5186-9895>

Fernando Ramírez Alatríste

Doctor en Física

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

México, D.F.

Correo electrónico: fernando.ramirez@uacm.edu.mx

Enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7991-7951>

Nadima Simón Domínguez

Doctora en Ciencias de la Administración

Universidad Nacional Autónoma de México

México, D.F.

Investigadora nacional de CONACYT nivel II

Correo electrónico: nasimon@fca.unam.mx

Enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0126-0424>

ANALYSIS OF A SCIENTIFIC NETWORK IN MEXICO

ABSTRACT: This article reports the results of a quantitative analysis in the environmental network REMA of the National Polytechnic Institute (IPN), the largest technological university in Mexico, by using network theory. For this, three attributes of centrality were analyzed: degree, intermediation and clustering coefficient. Additionally, the working methods of 231 researcher members at REMA were studied, considering their co-authorship in the scientific production of articles, books, book chapters and theses directed for the period 2009 to 2011. The software used for the study was Cytoscape 2.8.3. It is concluded that this network is formed by islands, which means there is no work among research centers in the alleged network. Researchers with the highest degree and the highest centrality level report a clustering coefficient of "0", which means that they work individually. Results suggest that this institution must change its resource allocation policies in order to promote collaborative work. Our results are similar to those of other studies in Mexico.

KEYWORDS: Scientific networks, Graph Theory, nodal degree, intermediation and clustering coefficient.

ANÁLISE DE UMA REDE CIENTÍFICA NO MÉXICO

RESUMO: Este artigo mostra os resultados de uma análise quantitativa na Rede Ambiental (Rema) do Instituto Politécnico Nacional (IPN), que é a maior universidade tecnológica no México, utilizando a teoria de redes. Analisaram-se três atributos de centralidade: grau, centralidade de intermediação e coeficiente de agrupamento. Estudou-se a forma de trabalho científico de 231 pesquisadores membros da Rema, considerando coautorias na produção científica dos artigos, livros, capítulos de livros e teses dirigidas desde 2009 até 2011. O software que se utilizou foi a versão 2.8.3 de Cytoscape. Conclui-se que a rede funciona como ilhas, o que significa que não há trabalho entre os centros de pesquisa da suposta rede. Os pesquisadores com o grau mais alto e o mais alto nível de centralidade de intermediação apresentam um coeficiente de agrupamento de "0", o que significa que os pesquisadores trabalham individualmente. Sugere-se que a instituição deve modificar suas políticas de atribuição de recursos, com o objetivo de promover o trabalho colaborativo. Nossos resultados são similares a outros estudos no México.

PALAVRAS-CHAVE: Redes científicas, teoria de grafos, grau nodal, intermediação e coeficiente de agrupamento.

ANALYSE D'UN RÉSEAU SCIENTIFIQUE AU MEXIQUE

RÉSUMÉ : Cet article présente les résultats d'une analyse quantitative effectuée dans le Réseau Environnemental (REMA) de l'Institut Polytechnique National (IPN), qui est la plus grande université technologique au Mexique, en utilisant la théorie des réseaux. Trois attributs de centralité ont été analysés : le degré, la centralité d'intermédiation et le coefficient de groupement. On a étudié la forme de travail scientifique de 231 membres chercheurs du REMA, en tenant compte leur participation en tant que co-auteurs dans la production scientifique d'articles, livres, chapitres de livres et thèses dirigées à partir de la période de 2009 à 2011. Le logiciel utilisé fut la version 2.8.3 de Cytoscape. On conclut que le réseau présente une forme d'ensemble d'îles, ce qui signifie qu'il n'y pas de travail entre les centres de recherche du prétendu réseau. Les chercheurs ayant le degré le plus élevé et le plus haut niveau de centralité d'intermédiation rapportent un coefficient de groupement de "0", ce qui signifie que les chercheurs travaillent individuellement. Il est suggéré que l'Institution doit modifier ses politiques d'allocation de ressources dans le but de promouvoir le travail collaboratif. Nos résultats sont semblables à d'autres études réalisées au Mexique.

MOTS-CLÉ : Réseaux scientifiques, théorie des graphes, degré nodal, intermédiation et coefficient de groupement.

CORRESPONDENCIA: Magali Cárdenas Tapia. Juárez 176 casa 9, Colonia Miguel Hidalgo, Delegación Tlalpan. C.P. 14250, México, D.F.

CITACIÓN: Cárdenas Tapia, M., Rivas Tovar, L. A., Ramírez Alatríste, F., & Simón Domínguez, N. (2016). Análisis de una Red Científica en México. *Innovar*, 26(61), 145-158. doi: 10.15446/innovar.v26n61.57174.

ENLACE DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/innovar.v26n61.57174>.

CLASIFICACIÓN JEL: O31, O32, O33.

RECIBIDO: Junio 2013, **APROBADO:** Agosto 2015.

RESUMEN: Este artículo muestra los resultados de un análisis cuantitativo en la Red Ambiental (REMA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que es la mayor universidad tecnológica en México, utilizando la teoría de redes. Se analizaron tres atributos de centralidad: grado, centralidad de intermediación y coeficiente de agrupamiento. Se estudió la forma de trabajo científico de 231 investigadores miembros de la REMA, considerando co-autorías en la producción científica de los artículos, libros, capítulos de libros y tesis dirigidas desde el periodo de 2009 a 2011. El *software* que se utilizó fue la versión 2.8.3 de Cytoscape. Se concluye que la red tiene una conformación de islas, lo que significa que no hay trabajo entre los centros de investigación de la supuesta red. Los investigadores con el grado más alto y el más alto nivel de centralidad de intermediación reportan un coeficiente de agrupamiento de "0", lo que significa que los investigadores trabajan individualmente. Se sugiere que la Institución debe modificar sus políticas de asignación de recursos, con el fin de promover el trabajo colaborativo. Nuestros resultados son similares a otros estudios en México.

PALABRAS CLAVE: Redes científicas, teoría de grafos, grado nodal, intermediación y coeficiente de agrupamiento.

¹ El presente artículo es resultado de la tesis doctoral en Ciencias de la Administración, de la autora Magali Cárdenas Tapia (2013): "Las redes de conocimiento en la temática de la sustentabilidad. Caso de la red de medio ambiente del Instituto Politécnico Nacional" de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Introducción

El trabajo en red incrementa la competitividad de personas que trabajan en grupo en oposición a las que trabajan de forma individual, por lo que es de vital importancia incentivar el trabajo en red (Yoguel y Fuchs, 2003).

En México la agencia reguladora de la ciencia y tecnología es el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que en los últimos años ha privilegiado con recursos financieros a los grupos de investigadores que trabajan en red. En los últimos años se ha revertido la tendencia de inversión en ciencia y tecnología, pasando de un histórico 0,43% del PIB en 2012 a 0,60% en 2015, y se mantiene el reto de aumentarla a 1% a fines de 2018. Al respecto hay signos alentadores: de 2012 a 2015 los recursos públicos orientados a la ciencia y la tecnología se han aumentado en 36% en términos reales y en 42% en términos nominales (Resendiz, 2015), por lo que sería bueno tener unas medidas que orienten las políticas de asignación de recursos en función de las colaboraciones entre miembros de una red formal de investigación.

Por ello proponemos analizar la estructura de la Red de Medio Ambiente del Instituto Politécnico Nacional² como un ejemplo concreto para evaluar las colaboraciones entre miembros de esta red y porque el área de medio ambiente es de las más importantes de la actualidad. Para el análisis de la red utilizamos la teoría de redes, en particular tres medidas de centralidad estructural: grado nodal (*node degree*), coeficiente de agrupamiento (*clustering coefficient*) e intermediación (*betweenness centrality*); adicionalmente se correlacionaron estas medidas con el nivel de los investigadores en el Sistema Nacional de Investigadores³ (SNI) de CONACYT. La información fue procesada utilizando el *software* CYTOSCAPE, versión 2.8.3 (Smoot, Ono, Ruschinski, Wang e Ideker, 2011).

Este artículo se estructuró en cuatro apartados: el primero presenta la revisión de la literatura sobre investigaciones en redes científicas, así como la definición de las tres medidas de centralidad utilizadas en la investigación; en el segundo, se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación; en el tercero, se revelan los resultados del análisis de la estructura de la Red de Medio Ambiente del Instituto Politécnico

Nacional y la discusión de resultados; en el cuarto, se presentan las conclusiones.

Investigaciones de redes científicas y centralidad estructural

La investigación en las redes de colaboración científica ha sido ampliamente estudiada en la literatura. El trabajo más citado es el de Newman (2001) quien, al usar bases de datos informáticas de artículos científicos en la física, la investigación biomédica y las ciencias de la computación, estudió la distancia entre los científicos a través de la red y las medidas de centralidad como cercanía e intermediación. Newman (2001) concluyó que mediante este análisis no es posible determinar la fuerza de los lazos de colaboración, por lo que propone una medida basada en el número de artículos en coautoría por pares de los científicos y el número de otros científicos con los que fue coautor.

Erfanmanesh, Rohani y Abrizah (2012) examinaron las redes de co-autoría de 3.125 artículos publicados en la revista *Scientometrics*, en un lapso de tiempo de más de tres décadas (1980-2012). La investigación analizó tres medidas de centralidad (cercanía, intermediación y grado) para 3.024 autores, 1.207 instituciones, 68 países y 22 campos académicos en esta red. Los resultados son un número bastante significativo de investigadores populares. Los Estados Unidos ocupan la posición más alta en todas las medidas de centralidad de grado estudiadas, y la disciplina académica más activa es Información y Bibliotecología.

Hou, Kresschmer y Liu (2008) estudiaron las citas en la revista internacional *Scientometrics*, referenciada en el (SCI) entre los años 1978 a 2004, examinando el análisis de co-ocurrencia, análisis de conglomerados y análisis de frecuencia, encontrando una microestructura de la red de colaboración en los aspectos científicos de la ciencia métrica; además, identificaron los campos de colaboración de toda la red y de las diferentes sub-redes de colaboración y el centro de colaboración de la red.

Li, Wang, Zhou y Fan (2007), al realizar un análisis empírico de la red *econophysicists*, proponen un modelo evolutivo ponderado para redes, que permite valorar la evolución de una red de conocimiento. En su investigación encontraron evidencias del fenómeno de libre escala, el grado y la distribución de los enlaces de la red.

En otra investigación sobre el tema, Newman (2004), usando tres bases de datos sobre Biología, Física y Matemáticas, consideró que había relación entre los investigadores solo si había coautoría entre ellos. Su investigación permitió responder preguntas tales como: ¿cuántas

² El IPN es la institución de educación superior tecnológica más grande de México (ANUIES, 2009).

³ El SNI de CONACYT fue creado en 1984 para reconocer la labor de las personas dedicadas a producir conocimiento científico y tecnología. Cuenta con cuatro niveles que están asociados a estímulos económicos. Esta distinción simboliza la calidad y prestigio de las contribuciones científicas de los investigadores.



personas escriben con un autor específico?, ¿cuál es la distancia entre los científicos en la red?, ¿cómo varían los patrones de colaboración entre actores y en el tiempo?, identificando patrones de coautoría.

Barabási, Jeong, Néda, Ravasz, Schubert y Vicsek (2002) analizaron todas las revistas relevantes en matemáticas y neuro-ciencia por un periodo de ocho años (1991-1998), valorando la dinámica y los mecanismos estructurales que rigen la evolución y la topología de la red. Los resultados indicaron que la red es libre de escala, y que la evolución de la red se rige por el apego preferencial (*preferential attachment*), que afecta los enlaces internos y externos. Asimismo, identificaron que la red aumenta de grado con el tiempo y la separación de nodos disminuye. Este modelo ha permitido estudiar la evolución de otras redes complejas, tales como la World Wide Web, Internet y otras redes sociales.

Investigaciones menos recientes como las de Luukonen, Persson y Siverten (1992), al estudiar las colaboraciones científicas internacionales, concluyen que existe su aumento en volumen e importancia a nivel internacional

en la cooperación, debido a factores cognitivos, sociales, históricos, geopolíticos y económicos como factores determinantes de los patrones observados. En sus trabajos proponen una metodología para evaluar la colaboración científica a nivel internacional.

Más recientemente Abbasi, Hossain, Uddin y Rasmussen (2011) estudiaron las coautorías de 40 años (1970-2009) de la base de Scopus, identificando una dinámica evolutiva en la colaboración. En estas redes se identificaron diversas propiedades tales como: su densidad, medidas de centralidad, el componente gigante y coeficiente de agrupamiento. En las redes nacionales, la conectividad, la centralización y el coeficiente de agrupamiento fueron más altas disminuyendo a medida que el tamaño de la red desciende al nivel institucional. Como un hallazgo muy relevante encontraron el efecto del mundo pequeño, ya que la distancia media entre los países, es alrededor de dos y en los institutos de cinco y ocho para los autores, lo que significa que solo ocho pasos son necesarios para llegar de un autor elegido al azar a otro.

Es importante destacar que la gran mayoría de los trabajos sobre el campo han sido realizados y publicados por físicos en revistas de física o bibliometría; es por ello que este campo es aún muy desconocido por investigadores en ciencias sociales, siendo casi absoluto en el área de administración.

En el estudio de los trabajos sobre redes científicas en América Latina, destacan los siguientes:

- Gómez, Fernández y Sebastián (1999) estudiaron la red de cooperación que existe entre científicos de América Latina a partir de indicadores bibliométricos entre 1991 y 1995, concluyendo que la mayor parte de la cooperación privilegia las coautorías con investigadores de Estados Unidos y la Unión Europea. En su estudio identificaron tres zonas geográficas y grandes diferencias por región.
- Lemarchand (2012) analizó la producción en todos los países de Iberoamérica y el Caribe entre 1973 y 2010, siendo el trabajo más reciente e importante sobre el tema; a partir de publicaciones científicas que figuran en el *Science Citation Index* (SCI), el *Social Science Citation Index* (SSCI) y *Arts and Humanities Citation Index* (A&HCI), encontró que en los últimos 38 años Portugal muestra la tasa de crecimiento más alta en ambos indicadores. También encontró que la co-autoría científica entre los países sigue una ley de potencias y se comporta como una red libre de escala de auto-organización, donde cada país aparece como un nodo y cada co-publicación como un enlace. Mediante un modelo matemático se probó que el número de publicaciones conjuntas entre los países crece cuadráticamente contra el tiempo. Asimismo se comprobó que la conectividad de los países iberoamericanos con redes científicas más grandes (*hubs*) está creciendo más rápido que la de otros países menos conectados.
- En trabajos concretos referidos a México destaca el trabajo de García-Bañuelos, Portilla, Chávez-Aragón y Reyes-Galavi (2009), que analiza las redes de colaboración entre los estudiosos de la informática mexicanos, utilizando técnicas de análisis de redes sociales a partir de dos fuentes de libre acceso: DBLP (una biblioteca digital pública) y el censo de los académicos mexicanos REMIDEC. Con este trabajo se ofrecen las prácticas de cooperación en la comunidad informática de México.
- Ayanegui-Santiago, Reyes-Galaviz, Chávez-Aragón, Ramírez-Cruz, Portilla y García-Bañuelos (2009) describen la red que ellos llaman "social", con datos de 1960 a 2008. En su investigación usan un algoritmo de agrupamiento para identificar los estudiosos con

quien sería aconsejable colaborar. Su idea fue identificar grupos donde había investigadores completamente desconectados pero con oportunidades de colaborar, dadas sus áreas de investigación comunes.

- Finalmente, en un trabajo no específico sobre México, González-Alcaide, Park, Humani, Gascón y Ramos (2012) estudian la cooperación entre científicos a partir de las publicaciones científicas sobre la enfermedad de Chagas recogidas en la base de datos *Medline* entre 1940 y 2009. Con el análisis de redes se estudiaron 13.989 documentos publicados por 21.350 autores. Resulta interesante comentar que hay un promedio de 6,2 autores por trabajo en el último quinquenio, una cantidad difícil de ver en otros campos. Aplicando un umbral de colaboración de 5 o más trabajos firmados en coautoría, se han identificado 148 grupos de investigación conformados por 1.750 autores. La red de Chagas conforma un 'mundo pequeño' con un elevado grado de agrupamiento, destacando el elevado número de investigadores brasileños.

Existen otros trabajos que exploran la colaboración entre investigadores de las coautorías para el caso de México, pero son análisis a nivel país y sin un enfoque de redes (Lemarchand, 2008). También existen trabajos análisis de colaboración científica que estudian el caso de la Universidad Nacional Autónoma de México, pero no son análisis de redes (Lima, Lieberman y Russell, 2005; Russell, Ainsworth y Narváez, 2006).

Este artículo es por tanto el primero en estudiar la segunda universidad más importante del México, con un enfoque de redes. Asimismo, es el primero en estudiar una red de medio ambiente, por lo que parece ser pionero en este campo. A continuación se definirán muy brevemente los conceptos de centralidad que serán medidos en este trabajo.

Centralidad estructural

Según Sanz (2003), el "análisis de redes sociales, también denominado análisis estructural, se ha desarrollado como herramienta de medición y análisis de las estructuras sociales que emergen de las relaciones entre actores sociales diversos (individuos, organizaciones, naciones, etc.)" (p. 21). Asimismo, afirma dicho autor:

La forma más directa de estudiar una estructura social es analizar los patrones de vínculos que ligan a sus miembros. El análisis de redes busca las estructuras profundas. La red es un constructo relacional, en el cual las descripciones se basan en los conceptos de vínculos que unen actores (nodos) que pueden ser personas, grupos, organizaciones o clusters de vínculos (Sanz, 2003, p. 25).

Freeman (1997) realizó estudios empíricos sobre centralidad y concluyó que está relacionada con la eficiencia del grupo a la hora de resolver problemas, con la percepción del liderazgo y con la satisfacción personal de los miembros del mismo. La centralidad, desde el punto de vista de la teoría de redes, nos permite analizar la estructura de una red en tres atributos de centralidad estructurales que nos interesa abordar en esta investigación: el grado, la intermediación y el coeficiente de agrupamiento, que se definen a continuación.

Grado nodal (*node degree*)

El concepto de grado nodal (*node degree*, por su término en inglés) significa que, cuando un investigador está estratégicamente situado en la línea de comunicación que liga a pares, este es central por lo que puede influir en el grupo por su alto grado de centralidad. De acuerdo con Diestel (2005) en las redes no dirigidas, el grado de nodo n es el número de aristas con enlaces a n .

Intermediación (*betweenness centrality*)

La intermediación, definida por Freeman (2000) y Newman (2003), está relacionada con que existan varios nodos centrales en una red, y en ese caso identificar cuál de los nodos puede comunicarse o influir más rápidamente entre los miembros de una red. La intermediación es útil como indicador del potencial de un nodo para controlar la comunicación.

La intermediación se calcula solo para redes que no contengan múltiples aristas. El valor de intermediación para cada nodo n se normaliza dividiendo por el número de pares de nodos excluyendo n : $(N-1)(N-2)/2$, donde N es el número total de nodos en el componente conectado que pertenece a n . Por lo tanto, la intermediación de cada nodo es un número entre 0 y 1.

Coficiente de agrupamiento (*clustering coefficient*)

El coeficiente de agrupamiento es una relación de N/M , donde N es el número de aristas entre los vecinos de N y M es el número máximo de bordes que podrían existir posiblemente entre los vecinos de N . El coeficiente de agrupamiento de un nodo es siempre un número entre 0 y 1.

El coeficiente de agrupamiento de la red es el promedio de los coeficientes de agrupamiento de todos los nodos en la red. El coeficiente de agrupamiento de un nodo es el número de triángulos que pase a través de este nodo, en relación con el número máximo de triángulos que podrían pasar a través del nodo; es la probabilidad de que dos

nodos conectados directamente a un tercer nodo estén conectados entre sí. Por ejemplo, en una red de amistades, es la probabilidad de que dos de mis amigos sean amigos uno del otro.

Metodología de la investigación

Se consideraron a 231 investigadores miembros de la Red de Medio Ambiente, adscritos a 14 centros de investigación del Instituto Politécnico Nacional (IPN); para llevar a cabo el análisis se consideraron tres atributos de centralidad de la red: grado nodal (*node degree*), intermediación (*betweenness centrality*) y coeficiente de agrupamiento (*clustering coefficient*), antes descritos, así como el nivel de los investigadores en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de CONACYT. Se consideraron las coautorías de la producción científica de: artículos, libros, capítulos de libro y tesis dirigidas entre el periodo 2009 y 2011. La información fue proporcionada por la coordinación de la REMA del IPN⁴.

A efecto de conservar el anonimato de los investigadores, se asignó un número consecutivo de acuerdo a cada centro de investigación. Se continuó la numeración para los investigadores nacionales e internacionales externos al IPN, con los cuales tuvieron relaciones de coautoría; se estimó también importante considerar todas las interacciones para presentar un panorama completo del trabajo de los investigadores.

Para el proceso de los datos se utilizó el *software* de acceso libre CYTOCAPE (versión 2.3.8), que está basado en la teoría de grafos, así como aporta información cuantitativa de la estructura de las redes que puede servir para evaluar las políticas de la institución, en cuanto al trabajo en red que realizan los investigadores y de qué manera las políticas institucionales incentivan o no el trabajo colaborativo que redundará en la generación de conocimiento para la solución a problemas del medio ambiente.

Se realizó un análisis de correlación entre las tres variables de centralidad estudiadas: grado, coeficiente de agrupamiento e intermediación, y el nivel del SNI, para lo cual se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, que se calculó con el paquete estadístico SPSS (versión 17).

⁴ La base de datos utilizada se tomó de los CV validados por la coordinación de la REMA del IPN y, aunque existen versiones actualizadas de los CV, no todos lo están o no han sido validados, por lo que la base de datos que usamos es la versión más confiable; por otra parte, hasta la fecha no se ha implementado un cambio de política en investigación en el IPN que indique que el patrón general de la red haya cambiado, por lo que las tendencias de los resultados siguen vigentes a pesar de que la red haya cambiado y a pesar de analizar una base de datos del periodo 2009-2011.

Resultados de la investigación

Resultados de la REMA por la variable grado

En el Cuadro 1 se presentan los 14 centros de investigación del IPN analizados en la investigación y la distribución de los 231 investigadores miembros de la REMA adscritos a cada uno de los centros, de los cuales 112 pertenecen al SNI.

En la Figura 1 se presentan los grafos de los 14 centros analizados por la variable grado nodal: el primer hallazgo en la investigación fue que no existen colaboraciones entre los diferentes centros de investigación del IPN, por lo que se presenta el análisis de cada centro de forma individual.

En cada uno de los grafos se pueden identificar los diferentes colores utilizados para las relaciones de coautoría de los diferentes productos analizados: artículos (azul claro), libros (lila), capítulos de libro (rojo) y tesis dirigidas (azul oscuro). De los 14 centros analizados solo tres (CICIMAR, CIC y CICATA QRO) tienen redes conexas, es decir que cada uno de los nodos es alcanzable desde cualquier otro nodo de la red. En todos los centros se puede observar que la mayor productividad es en artículos

publicados en revistas indizadas; se identifican con los enlaces de color azul claro.

Los nodos de mayor tamaño identifican a los investigadores más conectados; son los nodos con mayor número de coautorías, es decir son los nodos con mayor grado nodal.

Se puede observar en la mayoría de los grafos estructuras muy centralizadas, es decir, investigadores al centro rodeados de muchos nodos, los cuales no tienen relación entre ellos.

Por otra parte se identifican solo tres centros de investigación con redes conexas: CICIMAR, CIC y CICATA QRO, redes que están formadas por un componente, lo que significa que cada nodo se puede conectar con cualquier otro nodo de la red. El centro de investigación con mayor índice de coeficiente de agrupamiento es el CICIMAR con 0,3360, lo que significa que el 33% de los investigadores se relacionan entre sí.

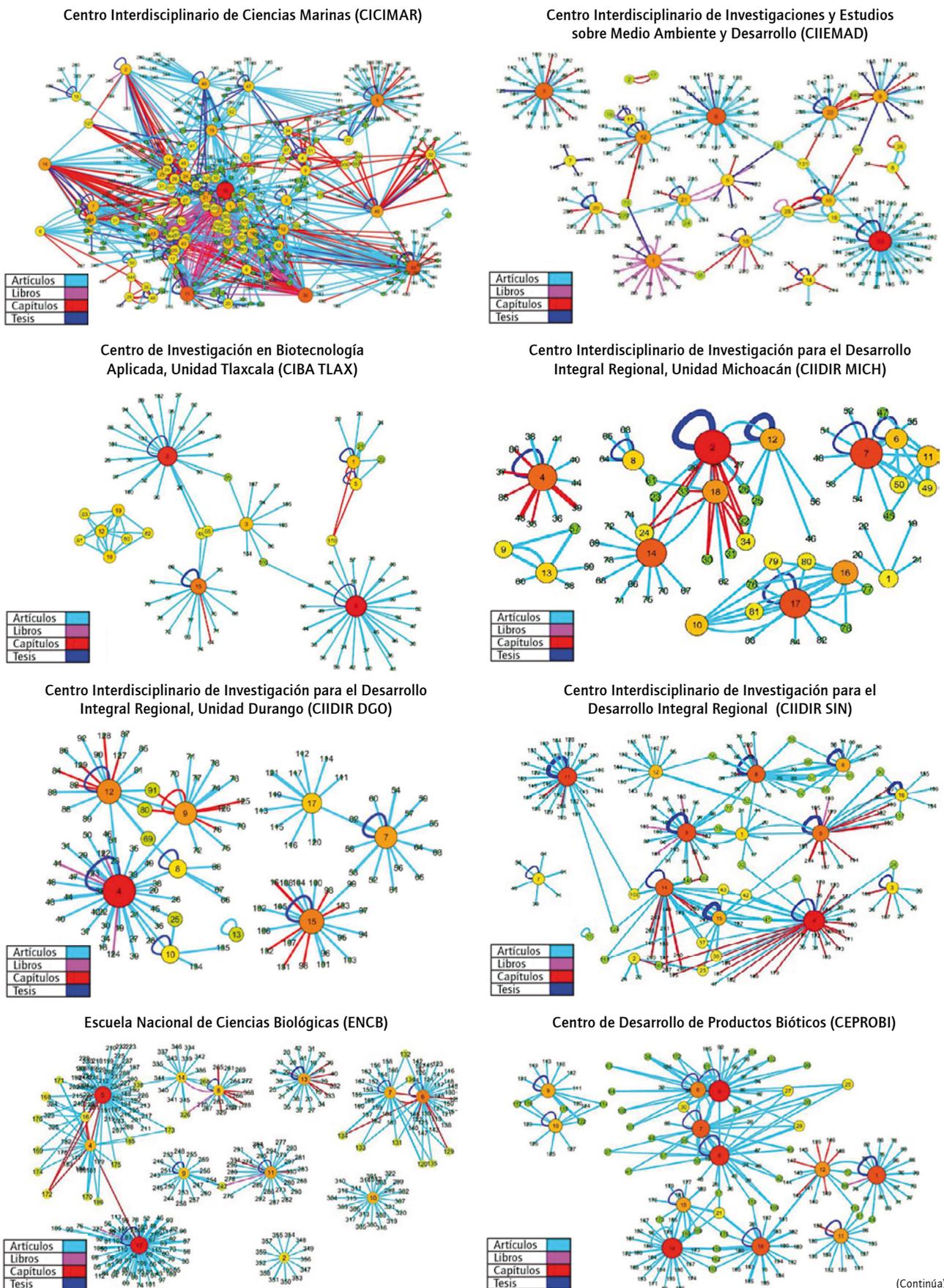
Son cuatro los centros con redes más desconectadas, con seis y cinco componentes: CIIDIR MICH, ENCB, CIEMAD y CIIDIR OAX, lo que implica muy poco trabajo en equipo; en general, los investigadores trabajan de forma individual.

CUADRO 1. Centros del IPN con investigadores miembros de la REMA

Nº	Centros	Investigadores	Pertenecen al SNI
1	Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR)	55	35
2	Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD)	25	10
3	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Unidad Tlaxcala (CIBA TLAX)	19	5
4	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán (CIIDIR MICH)	18	4
5	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango (CIIDIR DGO)	17	6
6	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR SIN)	17	9
7	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB)	17	14
8	Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI)	16	8
9	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR OAX)	13	4
10	Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI)	12	6
11	Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Zacatenco (ESIME ZAC)	9	2
12	Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE)	5	2
13	Centro de Investigación en Computación (CIC)	4	4
14	Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro (CICATA QRO)	4	3
Totales		231	112

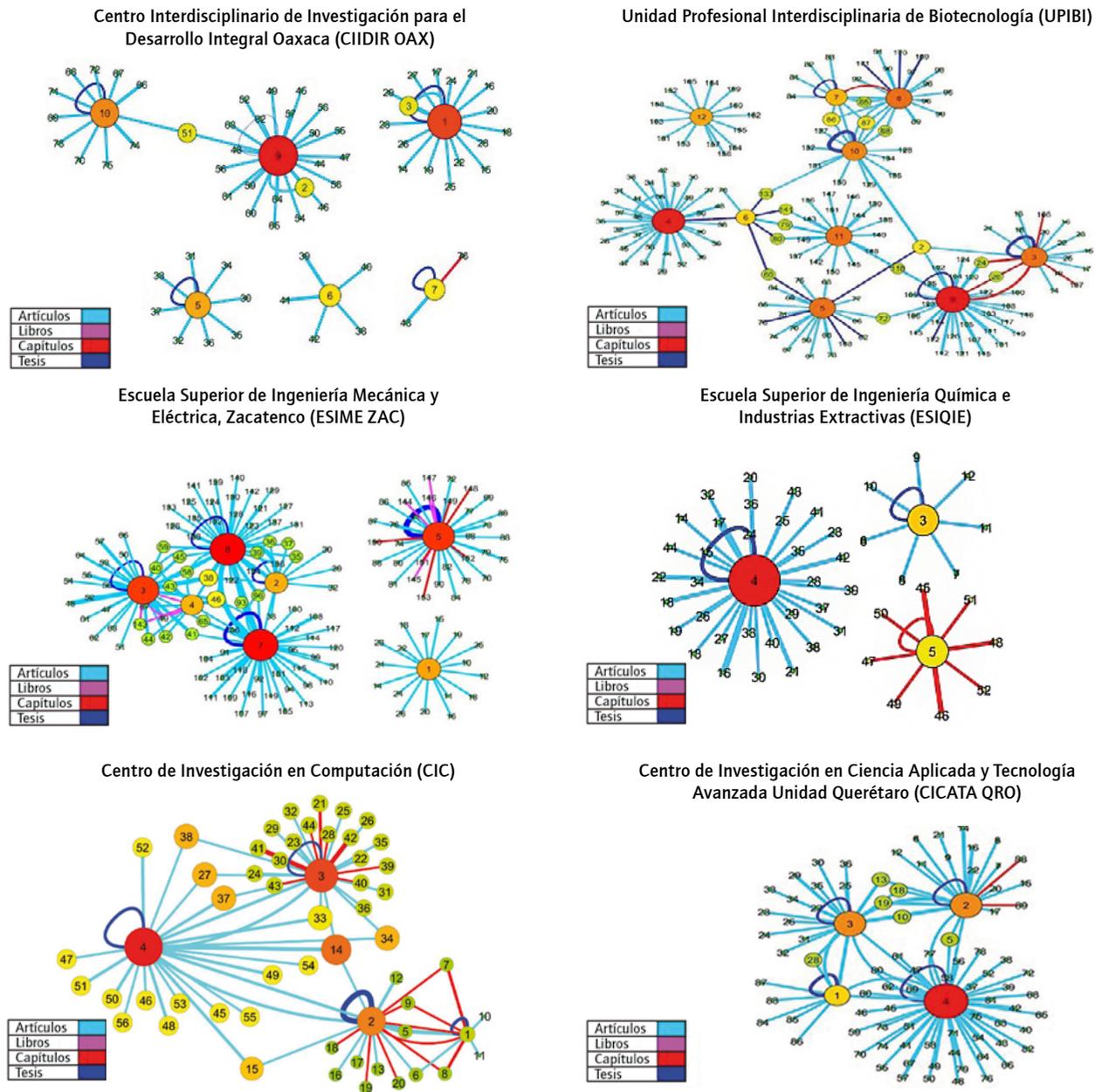
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 1. 14 centros de investigación del IPN analizados por grado nodal



(Continúa)

FIGURA 1. 14 centros de investigación del IPN analizados por grado nodal (continuación)



Fuente: Elaboración propia.

Discusión de resultados

Resultados de la REMA por la variable coeficiente de agrupamiento

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de los 14 centros de la REMA, clasificados en orden descendente por la variable coeficiente de agrupamiento; el centro de investigación con mayor índice de coeficiente de agrupamiento es el CICIMAR con 0,3360. Eso se explica porque es uno de los tres centros que tiene una red conexas con solo un componente; es decir, no existen nodos aislados.

El índice de centralización de la red mide a los investigadores que trabajan en estructura de estrella. ESIQIE es la escuela que presenta el índice de centralización más alto con 0,64. Es decir, el 64% de los investigadores trabajan en estructuras de estrella, lo que hace que su coeficiente de agrupamiento sea 0. La columna de vecinos indica el promedio de vecinos que tiene cada nodo: a mayor cantidad de vecinos mayor número de colaboraciones en coautoría en la producción científica.

La columna de número de nodos indica el número de colaboraciones internas y externas existentes entre los nodos de la red; se puede observar que el CICIMAR es el centro

CUADRO 2. REMA índices de centralidad de los 14 centros de investigación

Centros	Coefficiente de agrupamiento	Componentes	Centralización de la red	Vecinos promedio	Número de nodos
CICIMAR	0,3360	1	0,1790	4	462
CIIDIR MICH	0,2880	6	0,1570	3	82
CIC	0,2140	1	0,4440	2	56
CEPROBI	0,1720	2	0,1630	2	178
ESIME ZAC	0,1080	3	0,2410	2	147
CIBA TLAX	0,0890	2	0,3100	2	99
CIIDIR Sinaloa	0,0830	3	0,1830	2	209
CICATA QRO	0,0690	1	0,5560	2	89
UPIBI	0,0630	2	0,1870	2	168
ENCB	0,0610	6	0,2050	2	353
CIIDIR DUR	0,0260	4	0,3160	2	123
CIEMAD	0,0150	6	0,1890	2	231
ESIQIE	0,0000	3	0,6400	2	50
CIIDIR OAX	0,0000	5	0,3110	2	71

Fuente: Elaboración propia con base en las coautorías analizadas con el *software* CYTOSCAPE.

que presenta mayor número de nodos, lo cual se explica porque es el que tiene mayor número de investigadores miembros en la REMA y además porque es uno de los centros con mayor productividad científica del IPN.

En general los índices de coeficiente de agrupamiento de la REMA son bajos; el mayor porcentaje corresponde al CICIMAR, que es uno de los centros del IPN con mayor coeficiente de agrupamiento. También se observa que nueve de los 14 centros analizados reportan un coeficiente de

agrupamiento menor al 10%; ESQIE y el CIIDIR OAX reportaron un coeficiente de agrupamiento de 0.

Investigadores con mayor coeficiente de agrupamiento de los 14 centros

En el Cuadro 3 se presentan a los investigadores con mayor índice de coeficiente de agrupamiento de los 14 centros analizados. La información está clasificada en orden descendente por el coeficiente de agrupamiento; los índices

CUADRO 3. Investigadores de la REMA con mayor coeficiente de agrupamiento

Investigador	Coefficiente de agrupamiento	Intermediación	Grado	SNI	Centro
MICH-6	0,83	0,01	7	-	CIIDIR MICH
CICIMAR-29	0,81	0,00	25	I	CICIMAR
TLAX-12	0,60	0,13	8	-	CIBA TLAX
ESIME-4	0,22	0,10	16	-	ESIME ZAC
SIN-15	0,20	0,04	16	I	CIIDIR SIN
ENCB-16	0,19	0,06	13	I	ENCB
CIC-1	0,18	0,08	16	I	CIC
CIEMAD-25	0,17	0,12	11	-	CIEMAD
DGO-10	0,17	0,05	6	-	CIIDIR DGO
UPIBI-2	0,17	0,27	4	-	UPIBI
CEPROBI-6	0,12	0,03	19	I	CEPROBI
QRO-1	0,07	0,12	12	-	CICATA QRO
ESIQIE-3	0,00	1,00	9	I	ESIQIE
OAX-2	0,00	0,00	2	-	CIIDIR OAX

Fuente: Elaboración propia con base en las coautorías analizadas con el *software* CYTOSCAPE.

CUADRO 4. Investigadores de los 14 centros con mayor intermediación

Investigador	Intermediación	Coefficiente de agrupamiento	Grado	SNI	Centro
ESIQIE-4	1,000	0,000	34	I	ESIQIE
OAX-9	0,882	0,000	24	I	CIIDIR OAX
MICH-7	0,831	0,106	20	-	CIIDIR MICH
ENCB-11	0,824	0,000	30	II	ENCB
DGO-4	0,809	0,002	42	III	CIIDIR DGO
QRO-4	0,791	0,002	55	I	CICATA QRO
TLAX-7	0,657	0,000	34	I	CIBA TLAX
CIC-3	0,581	0,018	31	I	CIC
ESIME-7	0,540	0,009	42	II	ESIME
CIEMAD-6	0,486	0,000	33	I	CIEMAD
UPIBI-9	0,452	0,008	37	II	UPIBI
SIN-4	0,391	0,015	46	-	CIIDIR SIN
CICIMAR-15	0,324	0,040	110	II	CICIMAR
CEPROBI-4	0,281	0,045	36	I	CEPROBI

Fuente: Elaboración propia con base en las coautorías analizadas con el *software* CYTOSCAPE.

de las variables *intermediación* y *coeficiente de agrupamiento* van de 0 a 1; la columna SNI presenta el nivel de los investigadores en el sistema y la última columna indica el centro de investigación al que pertenece cada investigador.

Los investigadores con índices altos de coeficiente de agrupamiento, presentan índices bajos en intermediación así como categorías bajas de SNI. Se puede observar que, de los 14 investigadores con índices más altos de coeficiente de agrupamiento, ocho de ellos no pertenecen al SNI; parecería que los investigadores con niveles bajos en el SNI están interesados en formar equipos de trabajo y formar parte de las investigaciones a las cuales se les asigna mayor presupuesto.

Resultados de la REMA por la variable intermediación

En el Cuadro 4 se observan los investigadores con mayor índice de intermediación dentro de cada uno de los 14 centros de investigación; son los investigadores con mayor influencia en la red y son intermediadores entre los grupos. El cuadro está clasificado en orden descendente por la variable *intermediación*; los índices de la variable tienen valores de 0 a 1. La columna *grado* presenta el número de colaboraciones en coautoría; también aparece la columna SNI con el nivel del investigador y por último el centro de investigación al cual está adscrito el investigador.

Llama la atención el índice tan alto de intermediación del investigador ESQIE-4 y OAX-9. Esto se debe a que el *software* CYTOSCAPE calcula los índices de intermediación, considerando una red conexa. El CIIDIR OAX y ESQIE son centros con redes desconexas con cinco y tres componentes respectivamente (ver Cuadro 4); es decir, no existe trabajo en red, por lo que el *software* calcula la intermediación por cada componente como si fuera una pequeña red, la razón de los índices altos de intermediación.

Análisis de correlación entre las variables

En el Cuadro 5 se presentan las correlaciones entre las variables. Las variables de intermediación y grado tienen una correlación estadísticamente significativa de 0,869 ($p < 0,01$), es decir, a mayor grado, mayor intermediación. Un escenario que creemos explica esta correlación es la asignación de recursos para los proyectos de investigación con base en la ficha de productividad; a mayor puntuación mayores recursos para realizar sus investigaciones, lo cual hace que los investigadores con mayores recursos se vuelvan influyentes en la red. Adicionalmente se asigna presupuesto doble a los investigadores que pertenecen al SNI sobre los que no pertenecen.

La intermediación y el coeficiente de agrupamiento presentan una correlación estadísticamente significativa negativa,

CUADRO 5. Correlación entre las variables

Variables	Intermediación	Grado	Coefficiente de agrupamiento	S.N.I.
Intermediación	1,00	0,869*	-0,581**	0,567**
Grado	0,869*	1,00	-0,344**	0,569**
Coefficiente de agrupamiento	-0,581**	-0,344**	1,00	-0,390**
S.N.I.	0,567**	0,569**	-0,390**	1,00

*(p < 0,01), ** (p < 0,05).

Fuente: Elaboración propia.

según el coeficiente de Pearson de -0,581 ($p < 0,05$). El coeficiente de correlación para el grado y el coeficiente de agrupamiento es de -0,344, el cual también indica correlación estadísticamente significativa negativa ($p < 0,05$); no obstante, la correlación entre el grado y el coeficiente de agrupamiento resultó menor que la relativa a intermediación y el coeficiente de agrupamiento. En ambos casos se aporta evidencia a favor de la hipótesis planteada: a mayores índices de grado e intermediación, menor es el coeficiente de agrupamiento del investigador.

Existe una correlación media positiva estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre las variables de intermediación y SNI de 0,567, y entre las variables de grado y SNI de 0,569. Consideramos que un escenario que explica esta correlación comprende las políticas del IPN, de asignación de recursos, las cuales privilegian a los investigadores con categorías altas dentro del SNI con mayor asignación de recursos, lo cual beneficia a los que reciben mayor presupuesto para sus investigaciones, en la generación de mayor productividad científica.

La REMA es una red formal de una universidad pública, cuyo análisis de la estructura de la red nos muestra que la pertenencia a la misma no implica una colaboración entre los centros, e incluso entre miembros del mismo centro, como lo indica la presencia de 44 componentes en la red desconexa de la REMA, por lo que la finalidad de crear la REMA para fomentar la colaboración entre los investigadores no se está cumpliendo en esta etapa inicial.

Los resultados de la variable *grado nodal* nos indican que la REMA tuvo un comportamiento bajo; el 74% de los investigadores reportaron menos de 26 colaboraciones en el periodo (2009-2011) y solo el 10% reporta entre 43 y 110 coautorías. Los investigadores que reportan valores más altos en la variable *grado* de los 14 centros analizados están adscritos a los centros CICIMAR, ENCB y CICATA Querétaro, los cuales reportaron mayor productividad científica.

Otro hallazgo importante es que de los investigadores con mayor grado y mayores índices de intermediación, cinco reportan un coeficiente de agrupamiento de 0, lo que significa que trabajan de forma individual.

Se identificaron cuatro centros de investigación de la REMA (CICATA QRO, CIC, CEPROBI y UPIBI) con una distribución homogénea de la variable *grado*; la mayor parte de los investigadores cuentan con más de 15 colaboraciones en el periodo estudiado, y más del 50% de los investigadores de estos centros miembros de la REMA pertenece al SNI, lo que comprueba lo afirmado por Yoguel y Fuchs (2003), que aumenta la competitividad de las personas que trabajan en grupo, en oposición a las que actúan de forma individual.

Con respecto a la variable *intermediación*, el 77% de los investigadores tienen índices bajos entre 0 y 0,36, y solo 20 investigadores tienen índices mayores a 0,5; esto implica que muy pocos investigadores tienen nivel de intermediación alto entre los grupos. Es importante recordar que la variable *intermediación* nos permite medir la influencia o poder de los investigadores en la red. Este hallazgo comprueba el apego preferencial reportado por Barabási *et al.* (2002).

Los resultados del análisis permitieron identificar una correlación positiva entre las variables *intermediación*, *grado* y *nivel de SNI*; es decir, a mayor grado, mayor nivel en el SNI e índices altos de intermediación. Asimismo, se encontró una correlación negativa entre *coeficiente de agrupamiento*, *grado* e *intermediación*; es decir, a mayor grado e intermediación, menor es el nivel de coeficiente de agrupamiento.

Se identificaron 19 investigadores de la REMA con valores altos en la variable *grado* e índices altos de intermediación, así como niveles II y III de SNI; estos investigadores presentan mayor influencia en la red, porque se les asigna mayor presupuesto para realizar sus investigaciones.

Con respecto a la variable coeficiente de agrupamiento, los resultados del análisis indican que el 77% de los investigadores tiene índices muy bajos que van del 10 al 0,2, lo cual tiene varias explicaciones: la primera es que el 40% de los investigadores analizados no reportó productividad en el periodo estudiado; la segunda es que no existe relación entre los investigadores de los diferentes centros de investigación y, aunque se identificaron algunos grupos dentro de los centros, no existe relación de coautorías entre ellos.

Conclusiones

Si bien el esfuerzo que ha desarrollado el IPN es muy relevante, ya que las universidades latinoamericanas en lo general y las mexicanas en particular tienen evidencias de coautoría interuniversitarias muy bajas, la red de medio ambiente estudiada se encuentra en una etapa aún muy incipiente, porque es una red desconexa con 43 grupos de trabajo. Dicho de otra forma, esta es una red llena de islas y no tiene el funcionamiento esperado, porque las variables *intermediación*, *grado* y *coeficiente de agrupamiento* reportaron índices muy bajos, con respecto a una red totalmente conexa. Resulta significativo que la única excepción sea el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), que es también el centro con mejor desempeño científico de la Red. Este hallazgo refuerza la idea de que la colaboración y el trabajo en red sí incrementa la productividad.

Con estos hallazgos se valida que las políticas institucionales de asignación de recursos no favorecen el trabajo colaborativo entre los investigadores, ya que la mayor cantidad de recursos se asigna a los investigadores con mayor productividad, lo cual permite que estos sean más influyentes en la red y no fomenten el trabajo en red que se busca estimular.

Nuestros resultados son muy similares a los encontrados por Russell *et al.* (2006), al estudiar el caso de la UNAM. Es por ello que cabría especular si es parte de la cultura nacional en México la baja colaboración entre los científicos de una misma institución.

Es recomendable que se modifiquen las políticas institucionales para la asignación de recursos para la investigación, con el fin de incentivar el trabajo colaborativo, premiando en los sistemas de becas a los investigadores que publiquen con investigadores de otros centros de investigación. La investigación sobre redes de colaboración en México y en América Latina es escandalosamente pobre, por ello deseamos que este trabajo motive el interés de otros investigadores.

Referencias bibliográficas

- Abbasi, A., Hossain, L., Uddin, S., & Rasmussen, K. (2011). Evolutionary dynamics of scientific collaboration networks: Multi-levels and cross-time analysis. *Scientometrics*, 89(2), 687-710.
- ANUIES (2009). *Anuario estadístico de educación superior*. México. Recuperado el 2 de mayo de 2015 de: <http://publicaciones.anui.es.mx/colecciones/informacion-y-estadistica/14/anuario-estadistico-poblacion-escolar-y-personal-docente-en-la>.
- Ayanegui-Santiago, H., Reyes-Galaviz, O. F., Chávez-Aragón, Ramírez-Cruz, F., Portilla, A., & García-Bañuelos, L. (2009). Mining social networks on the mexican computer science community. *Advances in Artificial Intelligence MICAI* (pp. 213-224). Berlin: MICAI.
- Barabási, A. L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., & Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 311(3), 590-614.
- Diestel, R. (2005). *Graph theory*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Erfanmanesh, M., Rohani, V. A., & Abrizah, A. (2012). Co-authorship network of scientometrics research collaboration. *Malaysian Journal of Library & Information Science*, 17(3), 31-45.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 34, 35-41.
- Freeman, L. C. (2000). Visualizing social networks. *Journal of Social Structure*, 1(1) 15-31.
- García-Bañuelos, L., Portilla, A., Chávez-Aragón, A., & Reyes-Galavi, O. F. (2009). Finding and analyzing social collaboration networks in Mexican computer science community. *Mexican International Conference* (pp. 167-175). Mexico: IEEE.
- Gómez, I., Fernández, M., & Sebastián, J. (1999). Analysis of the structure of international scientific cooperation networks through bibliometric indicators. *Scientometrics*, 44(3), 441-457.
- González-Alcaide, G., Park, J., Humani, C., Gascón, J., & Ramos, J. N. (2012). Scientific authorships and collaboration network analysis on Chagas disease: papers indexed in PubMed (1940-2009). *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 54(4), 219-228.
- Hou, H., Kresschmer, H., & Liu, Z. (2008). The structure of scientific collaboration networks in Scientometrics. *Scientometrics*, 75(2), 189-202.
- Lemarchand, G. (2008). *The long term dynamics in co-authorships in Iberoamerican countries*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes Argentina. Recuperado el 2 de mayo de 2015 de: <http://arxiv.org/pdf/1001.2837.pdf>.
- Lemarchand, G. (2012). The long-term dynamics of co-authorship scientific networks: Iberoamerican countries (1973-2010). *Research Policy*, 41(2), 291-305.
- Li, M., Wang, D., Zhou, T., & Fan, Y. (2007). Evolving model of weighted networks inspired by scientific collaboration networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 375(1), 355-364.
- Lima, M., Liberman S., & Russell, J. M. (2005). Scientific group cohesiveness at the National University of Mexico. *Scientometrics*, 64(1), 55-66.
- Luukonen, T., Persson, O., & Siverten, G. (1992). Understanding patterns of international scientific collaboration. *Science, Technology & Human Values*, 17(1), 101-126.

- Newman, M. E. (2001). Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. *Physical Review E*, 64(1), 16-132.
- Newman, M. E. (2003). *The structure and function of complex networks*. Michigan USA: University of Michigan.
- Newman, M. E. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(1), 5200-5205.
- REMA (2012). *Red de medio ambiente*. Recuperado el 2 de mayo de 2015 de: <http://www.coordinacionredes.ipn.mx/redesip/rema/Paginas/Organizacion.aspx>.
- Resendiz, F. (2015). EPN: Inversión en ciencia y tecnología seguirá firme. *El Universal*. Recuperado el 14 de abril de 2015 de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2015/impreso/epn-inversion-en-ciencia-y-tecnologia-seguira-firme-225020.html>.
- Russell, J., Ainsworth, S., & Narváez, N. (2006). Colaboración científica en la UNAM y su política institucional. *Revista Española de Documentación Científica*, 29(1), 56-76.
- Sanz, L. (2003). Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, 7, 21-29.
- Sebastián, J. (2000). Las redes de cooperación como modelo organizativo y funcional para la I+D. *Redes*, 7(15), 97-111.
- Smoot, M., Ono, K., Ruscheinski, J., Wang, P.-L., & Ideker, T. (2011). *Cytoscape 2.8: new features for data integration and network visualization*. Oxford: Oxford University Press.
- Yoguel, G., & Fuchs, M. (2003). *Estudios sobre empleo componente de desarrollo de redes de conocimiento*. Buenos Aires: CEPAL. Disponible en: <http://www.cepal.org/argentina/noticias/paginas/6/12236/informe333d.pdf>.