

La estructura del sistema científico de México a finales del siglo XX: una visión a nivel de instituciones

Alejandro Arnulfo Ruiz León*

Instituto de Investigaciones en Matemáticas aplicadas y en Sistemas-UNAM

Jane Margaret Russell Barnard

Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas y de la Información-UNAM

RESUMEN

En este artículo se analiza el sistema científico mexicano considerando la colaboración y el reconocimiento en la identificación de comunidades científicas institucionales, para lo cual se construyeron redes a nivel de instituciones usando la información sobre producción científica de México indizada en la base de datos Web of Science (WoS) Core Collection de 1981 a 2003. Se usaron tres técnicas para analizar el sistema científico: 1) subredes de máxima colaboración, 2) subredes de máximo reconocimiento, 3) Visualización de semejanzas para determinar la estructura del sistema científico. El análisis se hizo considerando los 22 campos temáticos en conjunto y también en forma individual. Se observó que las universidades e instituciones de educación superior fueron la base de las comunidades científicas en las redes institucionales en cada uno de los 22 campos, destacando el papel central de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM). En promedio: las comunidades en cada campo estuvieron conformadas por 12 instituciones y en total se identificaron 50 instituciones en el análisis de los 22 campos. En la estructura científica nacional se observa la relevancia del campo en Medicina Clínica, donde la Secretaría de Salud fue la institución con mayor producción.

Palabras clave: *Comunidades científicas – México -Redes institucionales - Redes sociales - Sistema científico.*

ABSTRACT

In this paper institutional scientific communities identified on the basis of collaboration and recognition was used to study the scientific system of Mexico for the years 1981 to 2003. Institutional networks were constructed using data from Mexico's scientific production indexed in the Web of Science Core Collection. Three techniques were used to define and analysis the system's structure: 1.) maximum collaboration subnetworks, 2.) subnetworks with high recognition, and 3.) Visualization of Similarities to define system's structure. Institutional networks were constructed taking in account the whole 22 fields as a whole and individually. Results show universities and other institutions of higher education form the basis of institutional scientific communities in Mexico in both co-authorship and citation networks, with the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) as the central actor within the scientific structure of the country. The number of institutions that were members of a scientific community in any of the fields was 50 and the average number of members of scientific communities by field was 12. Clinical Medicine holds a prominent position in the Mexican Scientific System with a high involvement of Public Institutions of Health.

Key words: *Institutional networks – Mexico- Scientific communities - Scientific system - Social networks.*

* Contacto con los autores: Alejandro Arnulfo Ruiz León (rarnulfo@unam.mx), Janet Margaret Russell Barnard (jrussell@unam.mx)

INTRODUCCIÓN

El abordar el estudio de la estructura del sistema científico de un país considerando la o las redes que se forman entre las diferentes Instituciones, con base en las prácticas que inciden en la producción científica y determinar el papel y la influencia que puedan tener cada una de dichas instituciones en el desarrollo científico de dicho país, es un interés que ha implicado conjugar métodos bibliométricos, de minería de datos y de análisis de redes, entre otros.

En la definición de la ciencia moderna la participación y el establecimiento de relaciones entre las instituciones académicas y de investigación han sido un factor fundamental para posicionar la actividad científica como una actividad social exitosa y con reconocimiento (Ziman 1988), además de conformar un sistema con gran influencia en el desarrollo científico de los países. El estudio del grado de participación y los lazos que se establecen entre las diversas instituciones dentro de la actividad científica es un acercamiento para entender dicho sistema, en este caso considerando las instituciones ubicadas en México se abordó el estudio de la estructura del sistema científico nacional.

Para el estudio del grado de participación y los lazos entre las instituciones se consideró la información sobre producción científica mexicana indizada en la base de datos Web of Science (WoS). La WoS ha sido fuente para la realización de numerosos trabajos en que se ha estudiado la colaboración en la investigación a nivel nacional, regional y global así como la comunicación comunicación científica entre otros muchos aspectos (Yousefi-Nooreie et al. 2008, Santa y Herrero-Solana 2010, Ainsworth et al. 2014, Velez-Cuarteras et al 2016).

Se consideró la producción de 1981 al año 2003 clasificada en 22 campos temáticos. A partir de dicha información se identificaron 57, 876 artículos científicos y se establecieron los lazos para construir dos tipos de redes: de coautorías y de citas.

En el caso de México se han realizado trabajos como el de Díaz Aguilar (2011), en el que con base en la coautoría de trabajos científicos del año 2001 al 2005 muestra entre otros indicadores colaboración nacional e internacional, colaboración entre diferentes sectores sociales, producción científica de Instituciones nacionales por cada sector. Entre sus resultados menciona una baja colaboración entre instituciones nacionales en relación con el trabajo de autoría institucional individual y el trabajo de autoría institucional internacional;

una baja colaboración entre sectores y siendo el sector académico el más importante, encabezado por la UNAM.

Gil Mendieta y Ruiz León (2009) en su análisis de 1981 a 2003 muestran indicadores bibliométricos tales como total de documentos por año, producción por temas a nivel nacional, número de documentos por título de revista. En particular muestran la red de colaboración entre escuelas y facultades e institutos y centros de investigación de los tres subsistemas de investigación y docencia, dicha red se elaboró con base en 2981 documentos, los cuales representaron el 11.8 % de la producción científica de la UNAM en dicho periodo.

Luna Morales (2009) al analizar la ciencia mexicana del año 1980 al 2004, basándose en el concepto de comunidades científicas y redes de coautorías, muestra como la participación de las instituciones de educación superior del país y los diversos grupos de investigación han contribuido a la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México con un carácter descentralizador, esto en un marco de diversos eventos sociales, en que el desarrollo se ve como el resultado de diferentes escalamientos. La autora menciona, entre otros resultados, que si bien en este proceso destacan la participación de instituciones como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la UNAM, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional, "la ciencia mexicana registra escasa participación en el desarrollo de la industria nacional" (Luna Morales 2009).

Collazo Reyes (2012) en su propuesta para analizar la visibilidad internacional de un campo temático, la física, menciona entre otros aspectos, que una aproximación para diferenciar la importancia de los trabajos es la construcción de indicadores sobre el impacto o visibilidad de los mismos entre sus pares, indicadores que se consolidaron e instrumentalizaron con la introducción del *Science Citation Index* (SCI) y han sido considerados como un criterio para caracterizar las denominadas publicaciones de corriente principal. Lo que ha generado a su vez una estratificación al considerar a las otras publicaciones como marginales.

Zazo Rodríguez et al. (2015) al analizar desde el enfoque de sistemas de innovación, con base en las actividades de colaboración de la Universidad de Panamá (UP) con su entorno: empresas privadas, entidades públicas, otros centros o institutos de investigación y laboratorios científicos, y otras organizaciones.

Entre otros resultados, si bien hace notar que la red de innovación interna de dicha universidad no es muy robusta, resalta el papel significativo de dicha Universidad a nivel nacional. Destaca la conformación de comunidades en el campo de las Ciencias Sociales y en el de Ciencias de la Vida con una importante participación de centros, institutos y laboratorios externos a la UP, así mismo señala una gran dependencia de una comunidad externa en el campo de la Ingeniería y Tecnología.

Entre otros aspectos, los trabajos arriba referidos, destacan la importancia del estudio de la interacción entre las instituciones para comprender el sistema científico y la conformación de colectivos sociales caracterizados por un alto grado de producción, colaboración y reconocimiento por sus pares, es decir la conformación las comunidades científicas.

COMUNIDAD CIENTÍFICA

Casas Guerrero (1980) se avoca a esclarecer el significado del concepto de comunidad científica, concepto ampliamente utilizado por los especialistas en el estudio de la actividad científica (Garfield, 1975, 1979; Casas Guerrero 1980; Ziman 1988; Barabasi 2002; Palla et al. 2007; Böerner & Scharnhorst 2009). En general se refiere a la forma en que estos grupos se organizan con un apego a ciertas normas y valores que rigen su actividad. La importancia del concepto de comunidad científica radica en que es uno de los puntos centrales de los trabajos sociológicos sobre la ciencia. Para abordar el concepto de comunidad científica parte de la base teórica del concepto de comunidad en sociología. Menciona que las primeras ideas de comunidad representan tipos ideales de formas de organización social, y lo que destaca es la importancia que le da a los factores psicológicos como base de toda forma de organización. Posteriormente se integran otros elementos como formas de acción. De manera que el concepto de comunidad se refiere a:

“...la organización social en un territorio socio-organizacional delimitado sobre la base de lazos o sentimientos individuales, que van desde aquellos que unen a los miembros de la familia hasta aquellos otros que identifican a los miembros del mismo grupo étnico o religión.”

La autora conceptualiza a la comunidad científica con características internas propias del desarrollo de la actividad de investigación, pero acepta que los investigadores participan de

otras posiciones en la estructura social que influyen o determinan su propia actividad de investigación. La comunidad científica consta de un cuerpo de investigadores, sus relaciones e interacciones; cada uno de ellos experto en un área de conocimiento, reconocidos como tales por sus pares y por la sociedad en su conjunto, que se dedican a producir resultados en la ciencia.

El concepto de comunidad científica incluye varios ámbitos de la interacción de los individuos, en este caso se consideraron solo tres aspectos: los resultados en la ciencia, la colaboración y el reconocimiento por sus pares.

LAS REDES DE INSTITUCIONES

Ziman (1988) menciona que la ciencia es una actividad social inmensamente exitosa que ha ido tomando fuerza de manera continua y dicho éxito explica su prestigio en la sociedad y la vincula optimistamente con una ideología de progreso.

Salomón et al. (1994) menciona que la ciencia moderna no se dio en un solo día, llevó tiempo el que la gente y las instituciones lo interiorizaran; la diseminación de nuevas ideas era vista con mucha resistencia debido a la combinación de prejuicios, dogmas y hábitos. La separación entre arte, habilidad y ciencia se vio reflejada como una ruptura en el orden social y por ende en una división de clases; la tecnología hasta entonces usada por la clase servil se reservó para la clase profesional. El proceso de creación, expansión, consolidación y éxito de la ciencia moderna se ha dado en tres fases: la institucionalización, la profesionalización y la industrialización. Este proceso ocurrió en dicha secuencia y tomó varios siglos en los países desarrollados, sin embargo en los países emergentes hay casos en que primero se dio la profesionalización antes de la institucionalización, y la industrialización antes de la profesionalización.

La institucionalización se dio con el surgimiento de comunidades de academias, la profesionalización con el reconocimiento legal del profesionista como ocupación y su implícita membresía a una academia; y la industrialización con la aplicación de métodos de administración industrial y el desarrollo de infraestructura para llevar a cabo la actividad científica.

La participación y el establecimiento de relaciones entre las Instituciones Académicas y de Investigación en la definición de la ciencia moderna ha dado origen a un sistema complejo, en el que sin duda los recursos

humanos (investigadores, profesores, asesores, estudiantes, administradores, entre otros) como elementos que forman dicho sistema contribuyen a la generación de nuevo conocimiento, el que a su vez constituye los nuevos vínculos con otros elementos del sistema como son los diferentes documentos y artefactos. Algo que cabe resaltar es, que de acuerdo a las exigencias actuales los actores humanos tienen que estar afiliados a Instituciones académicas y de investigación (Hernández García 2009).

De manera que una forma de estudiar dicho sistema, es mediante el análisis de las redes de instituciones que lo conforman. En este caso extendiendo el concepto de comunidad científica a nivel de instituciones, se hizo la identificación y análisis de comunidades científicas en redes de colaboración y reconocimiento a nivel institucional, cuyos resultados nos aportaron elementos para comprender su organización y comportamiento.

EL ANÁLISIS DE REDES SOCIALES

El análisis de redes sociales (ARS) ha sido usado en las ciencias sociales y del comportamiento desde mediados de los años 1930. A comienzos de los años 1950 el lenguaje de teoría de grafos fue usado por los científicos sociales para entender los datos provenientes de estudios etnográficos, es así como mucha de la terminología en ARS proviene de la teoría de grafos (grado nodal, longitud de trayectorias, etc.) la cual ha sido usada o adaptada para hacer referencia a cuestiones como estatus, influencia, cohesión, entre otras.

Wellman y Berkowitz (1988) mencionan que no obstante que el concepto de estructura social ha jugado un papel crítico para distinguir la sociología de otras ciencias sociales, no es hasta mediados de la década de los años 1980 que se desarrollan métodos sistemáticos para analizar estructuras sociales concretas, estructuras que se representan como redes. El ARS apoyado en el enfoque estructuralista argumenta que la causalidad no se localiza en el individuo sino en la estructura social. Al estudiar al comportamiento como embebido en la estructura social, los científicos sociales explican los patrones macro no como el simple agrupamiento de muchos individuos actuando similarmente, sino como individuos cuyas acciones moldean las acciones de los otros para crear resultados. Se parte de la premisa que la vida social se crea en principio y de manera más importante por relaciones y por los patrones que forman esas relaciones. Formalmente una red es un conjunto de nodos

o miembros de la red unidos por una o más relaciones, y estas redes son los bloques con que se construye el mundo social entrelazándose unas con otras (Scott y Carrington, 2012).

En su libro titulado "El desarrollo del análisis de redes sociales" Linton C. Freeman (2005), uno de los pioneros del ARS con numerosos aportes en el área, hace un recuento histórico de las estrategias y los fundamentos teóricos que ha llevado a considerar al análisis de redes sociales como un paradigma de investigación bien organizado:

- Parte de la intuición estructural de la existencia de lazos que ligan a actores sociales,
- Está basado en información empírica sistemática,
- Hace amplio uso de imágenes gráficas, y
- Utiliza modelos matemáticos y/o computacionales

Estos cuatro puntos y en particular el último muestran que la aportación del ARS a la investigación social es la definición de una forma de medir cómo interactúan los individuos y ejercen influencia unos sobre otros (Freeman, 2005).

GRUPO SOCIAL Y COMUNIDAD CIENTÍFICA

Sin duda alguna un concepto que ha sido de gran interés en el análisis de redes sociales es el de grupo social (Freeman, 2002). El estudio de grupos se remonta hacia el año de 1830 con los trabajos de Comte y otros sociólogos como Homans (1950) quien expresa que "un grupo significa un número de personas que se comunican a menudo entre ellas durante un periodo de tiempo y son tantas tal que cada una de ellas es capaz de comunicarse cara a cara con las demás y no a través de otras personas".

Freeman (2002), se da a la tarea de analizar los estudios enfocados a definir lo que intuitivamente se observaba en las representaciones gráficas como puntos densos rodeados de zonas delgadas, la pregunta a contestar fue "¿qué características estructurales poseen los grupos de los agrupamientos?" cuya respuesta fue, que si bien la inclusión de sus miembros depende del grado de involucramiento en las actividades de grupo, la ausencia de traslapes es la propiedad estructural que define a los grupos sociales. Los grupos sociales no son simples categorías, tipos

o clases; son colectivos sociales caracterizados por una alta interacción y lazos interpersonales.

Cada uno de estos grupos es en sí una subred, conformada por un subconjunto de actores de la red original y el conjunto de lazos entre los miembros de dicho grupo, lazos que presentan ciertas regularidades dentro de la estructura que se define por el conjunto de todos ellos.

Como se mencionó anteriormente, por una parte el concepto de comunidad científica es un punto central en los trabajos sociológicos de la ciencia, a su vez, el de grupo social lo ha sido en las ciencias del comportamiento. Al respecto Crane (1969) menciona que las comunidades científicas son un tipo de grupo social en el que: (a) hay una gran interacción entre los miembros con mayor influencia y más activos en el área, y (b) un papel de actores menos activos en la organización del área.

Es así que derivado del interés en dichos conceptos, actualmente se puede observar una actividad transdisciplinaria orientada a la identificación de estos colectivos sociales. Waltman et al. (2010) hacen una revisión de las técnicas usadas para analizar la estructura de una red. Esto orientado a identificar la posición y pertenencia a cierto conjunto de actores, para dar respuesta a preguntas tales como ¿cuál es el tema principal de cierto dominio? ¿Cómo se relacionan los temas de los diferentes dominios? ¿Cuál ha sido el desarrollo de cierto dominio? ¿Cuáles son las instituciones que más colaboran?

El autor menciona que dos de las técnicas más usadas en el ámbito de la Bibliometría son la generación de mapas y la determinación de conglomerados o grupos jerárquicos, las cuales emplean el escalamiento multidimensional y la determinación de conglomerados jerárquicos. Técnicas que también han sido utilizadas en el ARS para la determinación de grupos cohesivos. Las últimas versiones del programa para análisis de redes, Pajek, incluyen procedimientos para el análisis y la visualización de estructuras usando técnicas desarrolladas en Bibliometría denominadas VOS (Visualization of Similarities). El concepto que subyace en el desarrollo dichos métodos es la identificación de patrones de lazos entre los individuos que determinan su pertenencia a uno u otro colectivo, considerando semejanza indirecta via terceros.

REDES DE COLABORACIÓN Y CITACIÓN

El conjunto de interacciones entre los individuos de una sociedad incide en su compleja

estructura, dando lugar a círculos de amigos altamente conectados, cliques familiares o profesionales dentro de una red social (Palla et al., 2007).

Es a partir de las relaciones e interacción que se establecen entre los miembros de la comunidad científica, durante la práctica de la investigación, que tienen lugar la colaboración y la citación científica. "Los científicos no sólo comunican los resultados a sus colegas a través de los artículos publicados, de preprints (impresiones preliminares) electrónicos y de presentaciones de conferencias, sino que también se apoyan en el conocimiento de trabajos publicados con anterioridad para formular propuestas y metodologías de investigación" (Russell, 2002).

Las relaciones pueden comprender una acción, actividad, transacción, sentimiento u otro tipo de conexiones entre pares. Los lazos son indicadores concretos de patrones abstractos de relaciones entre actores interdependientes a través de los cuales fluyen recursos materiales o no materiales (Faust, 2002).

Considerando los vínculos que se establecen derivados de la práctica científica, diversos estudios muestran que la red de coautorías de los científicos es un tipo de redes complejas que evolucionan, y dado que esta red se basa en los lazos que se derivan de la colaboración en la elaboración del documento, es un acercamiento a la organización social y patrones de comportamiento de los científicos (Crane, 1969; Garfield, 1975; Barabasi, 2002; Tomassini & Leslie, 2007; González-Alcaide, 2008, Yousefi-Nooraie et al., 2008; Leydesdorff 2008).

Garfield (1975) dice: "El análisis de citas refleja el mundo real de la ciencia", así la red de quién cita a quién constituye otra aproximación al estudio de la comunidad científica claramente fundamentada. El análisis de citas es un indicador sobre la calidad y prestigio de los autores y centros de investigación, da información de la influencia o impacto del documento (Garfield, 1979,; Garfield & Welljams-Dorf, 1992; Leydesdorff, 1998; Collazo-Reyes et al., 2009).

Con base en lo anterior es que se construyeron redes de coautoría y de citas cuyo análisis nos aportó elementos para entender la organización el sistema científico de México.

LA BASE DE DATOS

La información sobre publicaciones de autores afiliados a instituciones mexicanas se obtuvo de la base de datos Web of Science (WoS) de la compañía Thomson Reuter. La WoS es una base

de carácter multidisciplinario que indiza publicaciones líderes en 22 campos temáticos, en el área de ciencias naturales, ciencias sociales y artes y humanidades. Una de sus grandes críticas es el hecho de la poca cobertura de títulos en otros idiomas, lo que pone en desventaja a revistas regionales. (Santa & Herrero-Solana, 2010), lo que ha generado iniciativas como la incorporación de la base SciELO (Scientific Electronic Library Online). En cuanto a citación hay estudios que muestran claras diferencias con respecto a otras bases de datos, en temas tales como cómputo, biología, física y oncología (Kulkarni, 2009). Otro aspecto de WoS es su criterio estricto de calidad que restringirse su cobertura. A pesar de lo anterior y algo que también señalan los trabajos citados es que la WoS es una fuente de información con un gran número de ventajas, sin embargo su empleo deberá especificar el material y método que se usó (de Granda-Orive, 2013).

La WoS incluye información de más de 12,000 revistas de alto impacto a nivel mundial también incluye 150,000 memorias de conferencias. Tiene una cobertura retrospectiva hasta el año de 1900 en ciencias, ciencias sociales, artes y humanidades.¹

Los registros de las referencias bibliográficas contenidas en la WoS tienen diferentes puntos de acceso, entre los cuales se tiene el campo de "nombre del autor", el de "dirección de la institución a la que está afiliado el autor", el de "total de citas" y el de "año de publicación". En septiembre del año de 2004, con base en dichos campos se hizo una consulta tal que el campo dirección incluyera la subcadena Mexico y hubiesen sido publicados entre el año de 1981 y 2003. Se hizo una discriminación de aquellos registros en que el campo de la dirección incluía la subcadena Mexico pero que no correspondían a instituciones ubicadas en el país México. Se identificaron 71,557 registros que correspondieron a 24 tipos diferentes de documentos, en la Tabla 1 se muestra la frecuencia para los 7 tipos de documentos con mayor frecuencia de publicación y los otros 17 se agruparon en el tipo *Otros*. Se puede observar que los 57,876 documentos que corresponde al tipo artículos representan el 80.9% de los datos.

¹<http://thomsonreuters.com/web-of-science/>

[consultado 20 septiembre de 2013]

Tabla 1

Frecuencia de los documentos indizados en la WOS durante el periodo de 1981-2033

Tipo documentos	de Documentos Publicados	% de los 71,557
Artículo	57,876	80.9%
Memorias de reuniones	6,510	9.1%
Notas	1,934	2.7%
Cartas	1,486	2.1%
Artículos de revisión	1,271	1.8%
Reseñas de libros	833	1.2%
Material editorial	600	0.8%
Otros	1,047	1.5%

Para el análisis de citas y con base en el campo total de citas de la consulta hecha en septiembre de 2004 sólo se contabilizaron las citas entre los documentos de los 71,557 registros, lo que dio un total de 83381 citas.

NORMALIZACIÓN DEL CAMPO DIRECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE INSTITUCIONES

A continuación, considerando sólo los 57,876 artículos se procedió a crear una tabla en la que cada una de las direcciones constituyó un nuevo registro como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

El campo de dirección

C1
Univ Nacl Autonoma Mexico, Inst Invest Biomed, Dept Genet & Toxicol Ambiental, Mexico City 04510, DF, Mexico; Univ Nacl Autonoma Mexico, Inst Invest Biomed, Dept Biol Mol, Mexico City 04510, DF, Mexico; Hosp Gen Mexico, Dept Hematol, Mexico City, DF, Mexico
C1
Univ Nacl Autonoma Mexico, Inst Invest Biomed, Dept Genet & Toxicol Ambiental, Mexico City 04510, DF, Mexico;
Univ Nacl Autonoma Mexico, Inst Invest Biomed, Dept Biol Mol, Mexico City 04510, DF, Mexico
Hosp Gen Mexico, Dept Hematol, Mexico City, DF, Mexico

En el campo de dirección, la primera parte hasta la coma permite identificar que las dos primeras direcciones corresponden a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Por lo que si bien la subcadena -Univ Nacl Autonoma Mexico- permitiría identificar aquellas direcciones que corresponden a dicha institución, existen otras variantes de subcadenas que también corresponden a la UNAM. En la tabla 3 se muestran algunas de estas variantes. Por lo cual se procedió a hacer la normalización del campo C1.

Tabla 3

Algunas variantes de direcciones correspondientes a la UNAM

C1
UNAM IZTACALA,IZTACALA,TLALNEPANTLA,54000,MEXICO.
NATL UNIV MEXICO CITY,FAC MED,MEXICO CITY,DF,04510,MEXICO.
IFUNAM,MEXICO CITY,DF,01000,MEXICO.
Inst Invest & Matemat Aplicadas & Sistemas,IIMAS,MEXICO CITY,DF,MEXICO.
Ctr Neurol Queretaro,MEXICO CITY,DF,MEXICO.
Lab Cuernavaca,INST FIS,CUERNAVACA,MORELOS,62251,MEXICO.

En el caso en que el campo C1 contenía varias direcciones de una misma institución sólo se consideró una de ellas, con lo cual se procedió a crear una tabla en que los registros contienen la normalización de la dirección en el campo.

Durante el proceso de normalización también se agruparon todas aquellas dependencias de la Secretaría de Salud en una sola institución. Se procedió de la misma manera para el caso de las dependencias del Instituto Mexicano del Seguro Social, y de igual manera se trataron las instancias que dependen del gobierno federal, pero considerando aparte los centros CONACYT. Cabe señalar que los 57,876 artículos generaron 104,007 direcciones y la normalización se hizo con base al reconocimiento de subcadenas mediante el uso de consultas de selección y actualización en ACCESS.

REDES INSTITUCIONALES DE COAUTORÍA Y CITACIÓN

Retomando la conceptualización de las comunidades científicas, tres elementos que las caracterizan son:

- Una alta producción
- Las relaciones de colaboración
- El reconocimiento por sus pares

En el presente trabajo se construyeron dos redes para modelar los puntos 2 y 3:

- La red de coautorías determinó las relaciones que definen la estructura de colaboración.
- La red de citas se usó para trabajar el aspecto relacionado con el reconocimiento por sus pares.

Al referirnos a redes institucionales, éstas se definieron con base en los autores afiliados a dichas instituciones. De tal manera que en el momento de publicar un artículo de investigación, al estar los autores afiliados a una Institución, por medio de esta afiliación se establecieron los vínculos a nivel institucional, en que se consideró que hay una relación de coautoría entre dos instituciones A y B si hubo una relación de coautoría entre autores afiliados a la institución A y autores afiliados a la institución B; y si un autor afiliado a una institución A citó a uno afiliado a la institución B, se consideró que la institución A citó a la institución B.

En caso que el documento fue elaborado por múltiples autores y un número de ellos estuvieron afiliados a la institución A y otro número de autores a la institución B se consideró un sólo vínculo de coautoría entre ambas instituciones. En caso de que el documento fue elaborado por múltiples autores, en el que un número de ellos estuvieron afiliados a la institución A y el documento cita a otro documento de múltiples autores en el que un número de ellos estuvieron afiliados a la institución B se consideró que la institución A citó una vez a la institución B.

Se construyeron los dos tipos de redes considerando los campos 22 campos temáticos en conjunto y también para cada uno de ellos en particular.

ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LAS REDES

Se usó Pajek para la visualización y análisis de la estructura de las redes y subredes que se crearon, éste es un software desarrollado por un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Eslovenia. Cabe señalar que desde su presentación a mediados de los años 1990s, ha sido considerado por la comunidad como uno de los mejores programas del área, actualmente tiene la capacidad de generar visualizaciones de redes con un millón de actores y de analizar redes formadas por cientos de millones.

K-núcleos

Con base a la propiedad de la ausencia de traslapes y considerando estructuras altamente conectadas se empleó la identificación de subredes denominadas K-núcleos. Donde un K-núcleo es una subred conformada por el mayor número de nodos en la que cada nodo tiene al menos grado nodal K dentro de la subred, es decir tiene vínculos con al menos K miembros de la subred (De Nooy et al., 2005).

El procedimiento para la determinación de los K-núcleos es recurrente, el primer paso consiste en determinar el K-núcleo máximo de la red en cuestión, una vez hecho esto se vuelve a determinar el K-núcleo máximo sin que en él se incluyan los nodos de los K-núcleos anteriores, y esto se repite hasta determinar la pertenencia de cada nodo a un K-núcleo.

El procedimiento sólo garantiza que los K-núcleos máximos de la red completa sean subredes en que cada nodo está conectado con al menos K miembros de la subred. De esta manera la identificación de las subredes de mayor colaboración en la red de coautorías se hizo mediante la identificación de K-núcleos en dicha red.

Autoridades y concentradores

Una dimensión de la centralidad de un actor en una red no dirigida, tiene que ver más allá de su grado nodal o número de vínculos. Su centralidad será mayor si sus contactos son con actores con alta centralidad. La definición de este tipo de centralidad es de carácter circular, ya que para calcular la centralidad de un actor hay que calcular la centralidad de sus vecinos y para calcular la de éstos hay que calcular a su vez la de sus vecinos incluyendo la del actor con que se empezó. Esta medida es conocida como nodos importantes y una solución matemática al problema la proporciona el análisis de vectores propios (eigenvector analysis en inglés).

La aplicación del concepto de nodos importantes en redes dirigidas da origen a los conceptos de autoridades (authorities en inglés) y concentradores o (hubs en inglés). Los hubs son nodos importantes con un grado nodal de salida alto, conectados a autoridades importantes, y las autoridades son nodos importantes con un grado nodal de entrada alto, conectados a hubs importantes (De Nooy et al. 2005).

En el caso de la red de citas, los actores importantes que citan a actores importantes se representaron mediante hubs y los actores

importantes que son citados por actores importantes se representaron por autoridades. De esta manera se pudo identificar al conjunto de las instituciones con una alta citación entre ellas.

Kamada Kawai

El modelo propuesto usa una analogía física de un sistema de energías potenciales para determinar la estructura de la red. Para lo cual se parte de ver a una red $G=(V,X)$ como un sistema de cuerpos con fuerzas que actúan entre ellos y lo que se busca es una configuración para la posición de cada cuerpo tal que la suma de las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo sea cero (Di Battista et al. 1999).

En este caso las fuerzas entre los cuerpos se modelan mediante resortes, los que tienen un efecto de atracción o repulsión en función de una rigidez y longitud ideal, esto para modelar la distancia teórica entre los nodos u y v $d(u,v)$, a decir la longitud de la trayectoria que une a u y v , con una distancia Euclidiana entre ellos de $(u,v)=|u,v|$.

De manera que la fuerza entre los nodos u y v ($u \neq v$) $F(u,v)$ queda definida de la siguiente manera:

$$F(u,v) = S_{uv}(d_e(u,v) - d(u,v))$$

Donde, de (u,v) es la distancia Euclidiana entre u y v ; $d(u,v)$ es la distancia teórica entre u y v ; y S_{uv} es un parámetro de rigidez definido en función a la distancia teórica $S_{uv}=S/(d(u,v))^2$ de manera que entre menor sea la distancia teórica mayor será la rigidez, para una constante S .

De manera que la energía potencial del resorte que une a los nodos u y v , es la integral de la fuerza que el resorte ejerce a decir:

$$E(u,v) = \frac{1}{2} S_{uv}(d_e(u,v) - d(u,v))^2$$

Por lo que la energía del sistema será:

$$E = \sum_{u,v \in V} E(u,v)$$

$$E = \sum_{u,v \in V} \frac{1}{2} S_{uv}(d_e(u,v) - d(u,v))^2$$

Finalmente la solución determina las posiciones de todos los nodos de manera que minimicen la energía del sistema, la construcción del modelo implica que la posición de los nodos se determina en función a su distancia teórica.

El método se aplica a redes conexas en que se puede definir una trayectoria entre cada par de nodos. En otro caso, tratándose de redes no conexas, se aplica a cada una de las subredes

en que se pueda definir una trayectoria entre cada par de actores que forman cada una de dichas subredes, es decir a cada componente de la red.

Visualización de semejanza

Dado que para la construcción de las redes de coautorías y las redes de citas, los vínculos se establecieron en función de los artículos publicados en el periodo de 1981 a 2003, el valor de los vínculos fue el total de artículos en coautoría en un caso y en otro fue el total de citas. Este valor representa un grado de semejanza entre las instituciones, por lo que la estructura de las redes se puede analizar y visualizar mediante lo que se ha llamado visualización de semejanza (VOS por Visualization of Similarities).

Este modelo genera una visualización en un espacio Euclidiano en el que cada objeto es colocado en coordenadas de forma que la distancia entre cada par de ellos refleje su semejanza tan precisa como sea posible (Van Eck y Waltman 2010).

Dado un conjunto V de n entidades y una matriz $n \times n$ de semejanza $X = (x_{uv})$, en donde cada elemento x_{ij} de X denota la semejanza entre la entidad u y la entidad v . La función objetivo a minimizar es:

$$E = \sum_{u,v \in V} x_{uv} |u - v|^2$$

Donde $|u-v|$ denota la distancia Euclidiana entre u y v ; X_{uv} es la semejanza entre u y v . La minimización de la función objetivo está sujeta a una función de restricción para evitar que todos los nodos sean colocados en las mismas coordenadas.

$$\sum_{u,v \in V} |u - v| = 1$$

Además se usa otra restricción tal que la ubicación de dos entidades en el plano dependerá del grado de semejanza con terceras entidades, a lo que los autores le llaman semejanza indirecta.

RESULTADOS

De los 57,876 artículos se identificaron 808 instituciones, en la tabla 4 se muestran las 25 instituciones con mayor número de artículos publicados. En él se puede observar que la Universidad Nacional Autónoma de México es la institución con mayor número de artículos, con un total de 22,500 que corresponde a una participación del 38.88% en los 57,876 artículos, en segundo lugar se encuentra la

Secretaría de Salud con una participación del 12.09%, en tercer lugar está el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional con una participación del 10.84%, en cuarto lugar está la Universidad Autónoma Metropolitana con una participación del 6.55%, en quinto lugar está el Instituto Mexicano del Seguro Social cuya participación fue del 5.58 %, en sexto lugar se ubica el Instituto Politécnico Nacional con una participación del 4.42%. A partir del séptimo lugar las instituciones tienen una participación menor al 3%.

Un aspecto que empieza a sobresalir es la diferenciación en el grado de participación en cuanto al número de artículos producidos por las diferentes instituciones. La proporción de artículos producidos por la UNAM es tres veces mayor a la de la Secretaría de Salud, la cual es la segunda institución con mayor producción científica.

La red de coautorías

La red de coautorías quedó constituida por las 808 instituciones o actores y los vínculos entre ellos se definió a partir de la participación en los mismos artículos. En el caso de que la participación fue en más de un artículo el valor del vínculo se determinó por el total de artículos en que participaron ambas instituciones, en este caso los vínculos son recíprocos por lo que se representó mediante aristas.

En la Figura 1 se muestra la red de coautorías. Al aplicar el algoritmo Kamada-Kawai considerando solo la existencia de vínculos para identificar los diferentes componentes de la red y calcular el grado nodal para representar con el mismo color y mismo diámetro las instituciones que tuvieron el mismo número de vínculos. Se observó que dicha red no es conexa, ya que está constituida por 261 componentes de los cuales el componente mayor consta de 538 instituciones, hay un componente que consta de tres elementos, 8 que constan de dos elementos cada uno y 251 componentes que corresponden a instituciones sin vínculos. Cabe señalar que se está considerando colaboración con instituciones mexicanas, por lo que de las 251 instituciones aisladas, ya sea que no tienen vínculos de colaboración o los tienen con instituciones extranjeras, aspecto que no se abordó en este trabajo.

Al determinar los K-núcleos en el componente mayor de la red de coautorías, el valor máximo de K fue de 18 con lo que obtuvo una subred de grado 18 constituida por 37 instituciones, es decir que cada una de estas 37 instituciones fue

coautora con al menos 18 de las 37 instituciones de dicha subred. En ella y en el período analizado las cinco instituciones con que más colaboró la UNAM fueron: la Secretaría de Salud con un total de 1210 artículos, la Universidad Autónoma Metropolitana con 816, el Centro de Investigación y de Estudios

Avanzados del Instituto Politécnico Nacional con 734, el Instituto Mexicano del Seguro Social con 391 y el Instituto Politécnico Nacional con 332 artículos. Estas instituciones se encuentran en la parte central de la estructura de la red. Cabe señalar que el grado de centralización del componente mayor fue de 0.45.

Tabla 4

Las 25 instituciones con mayor producción de artículos (1981-2003)

	Institución	Artículos	% de los 57876 artículos
1	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	22,500	38.88%
2	SECRETARIA DE SALUD	7,000	12.09%
3	CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	6,274	10.84%
4	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	3,788	6.55%
5	INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	3,232	5.58%
6	INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	2,561	4.42%
7	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	1,604	2.77%
8	CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA	1,113	1.92%
9	INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFISICA OPTICA Y ELECTRONICA	1,022	1.77%
10	UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	959	1.66%
11	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	941	1.63%
12	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	934	1.61%
13	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	903	1.56%
14	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	816	1.41%
15	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	745	1.29%
16	CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO	735	1.27%
17	UNIVERSIDAD DE SONORA	688	1.19%
18	CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLOGICAS DEL NOROESTE SC	660	1.14%
19	UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	645	1.11%
20	INSTITUTO DE ECOLOGIA AC	634	1.10%
21	CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA AC	582	1.01%
22	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS	561	0.97%
23	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA	533	0.92%
24	INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY	503	0.87%
25	EL COLEGIO FRONTERA SUR	500	0.86%

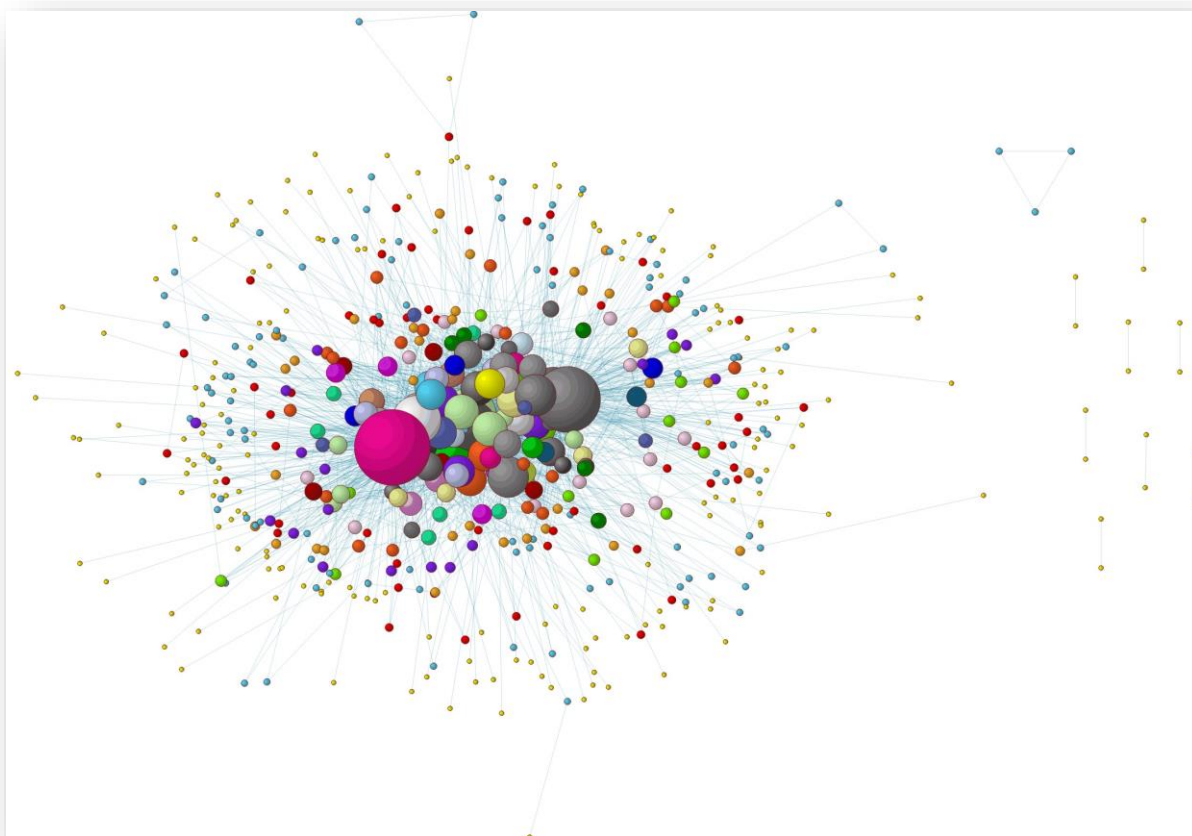


Figura 1. Red de coautorías (1981-2003)

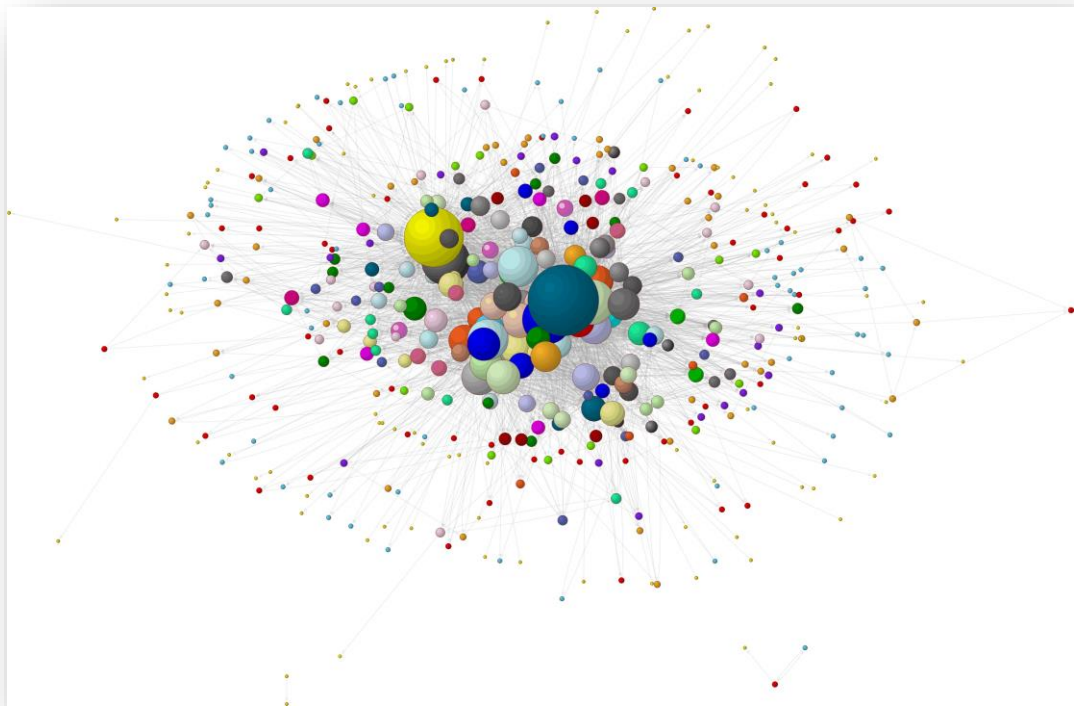
La red de citas

En la tabla 5 se muestran las 25 instituciones con mayor número de citas y citas recibidas. Para el análisis de la red de citas, sólo se consideraron las citas entre el total de artículos identificados. De manera que de los 57,876 artículos, un total de 30,790 de ellos citaron a otros 25,343. Esto significó que 415 instituciones citaron a 369 de las 808 instituciones identificadas. En este caso los vínculos se representaron mediante arcos porque la citación conlleva una direccionalidad.

Se procedió a aplicar Kamada-Kawai considerando solo la existencia de vínculos para identificar los componentes y se calculó el grado nodal para visualizar la estructura de la red de citas. Se observó que la red de citas no es conexas, el componente mayor consta de 472 instituciones, hay un componente conformado por tres instituciones, uno integrado por dos y 331 instituciones sin vínculos (Figura 2). Al calcular la centralización considerando el grado de entrada éste resultó de 0.52 y considerando el grado de salida este fue de 0.41.

Tabla 5*Las 25 instituciones con mayor número de citas y citas recibidas (1981-2003)*

	Institución	Artículos	citas	citas recibidas
1	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	22,500	40,149	40,072
2	CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	6,274	11,907	12,456
3	SECRETARIA DE SALUD	7,000	10,169	10,184
4	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	3,788	6,395	6,366
5	INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	3,232	4,212	3,813
6	INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	2,561	3,891	2,820
7	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	1,604	2,637	2,219
8	CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA	1,113	1,732	1,925
9	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	934	1,613	1,370
10	UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	959	1,434	982
11	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	816	1,423	1,227
12	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	903	1,404	1,000
13	UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	645	1,320	786
14	INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFISICA OPTICA Y ELECTRONICA	1,022	1,310	1,242
15	CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO	735	1,276	1,267
16	UNIVERSIDAD DE SONORA	688	1,125	1,055
17	CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE SC	660	1,065	1,024
18	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	941	912	769
19	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	745	876	805
20	CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA AC	582	809	731
21	EL COLEGIO FRONTERA SUR	500	800	693
22	INSTITUTO DE ECOLOGIA AC	634	775	679
23	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA	533	742	674
24	UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO	466	629	441
25	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS	561	554	565

**Figura 2.** Red de citas (1981-2003)

Al analizar los actores más reconocidos se observó que 34 instituciones fueron las que más citaron a otras instituciones y a su vez las que fueron citadas por un número mayor de ellas. Durante el periodo analizado la UNAM citó 2761 veces a la Secretaría de Salud, misma que citó 2995 veces a la UNAM; la UNAM citó 2354 veces al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, mismo que la citó 1937 veces; la UNAM citó 1843 veces a la Universidad Autónoma Metropolitana, misma que la citó 1830 veces; la UNAM citó 833 veces al Instituto Mexicano del Seguro Social, mismo que la citó 1008 veces; la UNAM citó 508 veces al Instituto Politécnico Nacional, mismo que la citó 801 veces.

La intersección de las 37 instituciones que formaron el k-núcleo máximo y las 34 instituciones que fueron autoridades y concentradoras, resultó estar constituida por 30 instituciones. En la Figura 3 se muestra la red de colaboración de las mismas aplicando

Kamada Kawai considerando solo la existencia de vínculos, en la que la UNAM, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional, con un total de 29 lazos de colaboración cada una fueron las instituciones que colaboraron con el mayor número de las 30 instituciones.

Retomando los tres elementos para la identificación de comunidades científicas: los resultados en la ciencia, la colaboración y el reconocimiento por sus pares. Las 30 instituciones anteriormente mencionadas tienen altos niveles de producción, han establecido el mayor número de vínculos de colaboración entre ellas y tienen un reconocimiento alto por parte de sus pares, es decir pueden considerarse una comunidad y con base en la metodología usada para su identificación puede considerarse la elite de la comunidad científica a nivel institucional, esto considerando todos los campos temáticos.

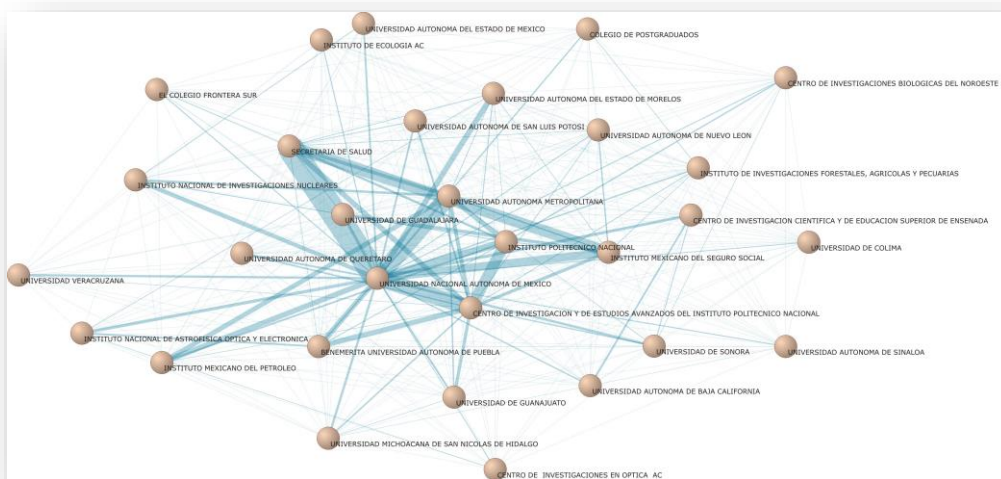


Figura 3. Red de coautoría de las 30 instituciones que conformaron la comunidad científica institucional mexicana considerando los 22 campos (1981-2003)

Campos

En la documentación en línea del sitio Web of Knowledge se menciona que los registros de la WoS se clasifican en 22 campos temáticos, los que comprenden 253 temas denominados Web of Science Categories (WoSC).

Los 57,876 artículos cubrieron los 22 campos temáticos. En la tabla 6 se puede observar que el área con mayor frecuencia es Medicina Clínica con 12,390 artículos y en segundo lugar Física con 9,721 artículos.

Al analizar la producción de las 25 instituciones con mayor número de artículos producidos, con base en el campo temático en que fueron clasificados, se puede observar el grado de participación, por ejemplo en la tabla 7 se muestra que la UNAM es la institución con mayor producción de artículos y la segunda es la Secretaría de Salud. Al considerar solo el número de artículos producidos en el campo de Medicina Clínica, se observó que la Secretaría de Salud produjo 5,302 y la UNAM 2,719, lo que muestra cierta diferenciación por campo temático.

Tabla 6
Total de artículos por campo temático

Área temática	Total
Medicina Clínica	12,390
Física	9,721
Ingeniería	8,831
Química	8,042
Ciencia de Plantas y Animales	7,584
Biología y Bioquímica	6,191
Biología Molecular y Genética	3,889
Geociencias	3,514
Matemáticas	3,406
Ciencias Agrícolas	3,226
Ciencias Sociales	3,020
Ciencia de los Materiales	3,008
Medio Ambiente/Ecología	2,997
Ciencias del Espacio	2,835
Farmacología y Toxicología	2,587
Neurociencia y Conducta	2,220
Microbiología	2,104
Psiquiatría/Psicología	1,819
Ciencia de la Computación	1,124
Inmunología	1,015
Economía y Negocios	519
Artes y humanidades	461

Tabla 7
Total de artículos por campo temático

	Total	Medicina Clínica	Física	Ingeniería	Química	Ciencia de Plantas y Animales	Biología y Bioquímica	Biología Molecular y Genética	Geociencias	Matemáticas	Ciencias Agrícolas	Ciencias Sociales	Ciencia de los Materiales	Medio Ambiente/Ecología	Ciencias del Espacio	Farmacología y Toxicología	Neurociencia y Conducta	Microbiología	Psiquiatría/Psicología	Ciencia de la Computación	Inmunología	Economía y Negocios	Artes y humanidades
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	22,500	2,719	3,983	3,480	3,786	2,693	3,125	2,073	1,847	1,603	452	752	1,333	1,343	1,899	930	1,074	925	719	365	248	84	250
SECRETARIA DE SALUD	7,000	5,302	6	71	70	270	717	604	9	1	239	831	1	119	3	530	570	285	694	6	481	3	4
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	6,274	915	1,882	1,299	1,001	526	942	599	186	543	228	95	593	115	259	513	366	409	103	139	89	2	
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	3,788	397	881	896	1,240	221	392	161	109	467	131	170	316	164	109	150	71	44	76	69	9	23	26
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	3,232	2,661	2	28	115	165	344	320	1		85	253	4	22		295	219	138	76		175	1	
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	2,561	411	558	576	492	383	265	125	225	142	151	33	314	117	42	217	56	144	46	91	86		
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	1,604	133	896	338	321	22	59	24	27	167	7	29	122	10	85	26	73	42	27	49	17	4	13
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA	1,113	7	332	231	37	354	66	10	355	20	14	9	48	76	7	5				46	2	1	
INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFISICA OPTICA Y ELECTRONICA	1,022	1	500	171	27		1	10	19		8	36		430						35			
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	959	287	119	71	136	156	103	79	60	18	57	79	44	38	16	57	67	36	61	5	22	3	4
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	941	269	21	116	93	244	82	32	62	18	78	38	76	47		63	17	64	13	9	30	8	3
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	934	98	306	125	193	44	61	45	17	47	20	21	30	11	176	16	4	98	8	12	8	6	1
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	903	7	110	405	534	6	25	7	198	48	4	6	121	115	1	3	3	7	11	10			
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	816	106	375	223	155	20	32	18	44	78	30	23	115	49	6	39	15	9	4	22			
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	745	64	219	403	305	1	34	51	30	11	4	22	97	51	26	48			3	5			
CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO	735	15		5	10	318	39	92	2	1	568	21	1	6					2	1	46		
UNIVERSIDAD DE SONORA	688	31	267	147	218	68	33	13	36	38	86	31	73	39	1	7	1	3	19	6			
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE SC	660	43	1	18	15	405	133	76	48		52	6	1	116		14	5	69	2	1	23		
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	645	53	211	111	213	81	83	53	29	60	20	7	66	15	3	33	18	20	12	9	8		
INSTITUTO DE ECOLOGIA AC	634	10	2	15	3	417	58	12	15		42	4	5	193		1	10	66	10	3			1
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA AC	582	7	551	108	16	1	2	1		7		1	37	1						12			
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS	561	51	7	21	23	309	44	14	9	2	267	5	1	52		7	5	36	7		10	1	
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA	533	26	42	45	48	288	40	16	68	6	21	13	19	72	6	12	1	18	10	7	2	1	1
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY	503	45	67	200	56	84	53	38	21	32	36	29	36	28	1	18	3	1	11	109	28	2	
EL COLEGIO FRONTERA SUR	500	53		4	6	281	125	9	38	1	26	43		87		4	4	18	7	1	1	3	

Como siguiente paso se procedió a determinar las comunidades científicas en los 22 campos. En promedio el grado de centralización de los componentes mayores de cada uno de los

campos fue de 0.54. En total se identificaron 75 instituciones que conformaron los k-núcleos máximos de los 22 campos. De los cuales Medicina clínica con 33 instituciones y Ciencias

de los materiales con 28 instituciones fueron los campos en que los núcleos máximos estuvieron integrados por el mayor número de instituciones.

En la tabla 8 se muestran los resultados de identificar cada uno de los k-núcleos máximos en cada uno de los 22 campos, se muestran solo las instituciones que se identificaron dentro de 5 o más k-núcleos. En la tabla se puede observar el papel central en el aspecto de la colaboración científica de la UNAM en 21 campos, el CINVESTAV en 19, el IPN en 19, la UAM en 18 y la SS en 13, la BUAP en 11 y el IMSS en 11.

Cabe señalar que la UNAM, el CINVESTAV y el IPN se identificaron como comiembros de los mismos k-núcleos máximos en 17 campos. Instituciones que junto con la UAM fueron comiembros de los mismos k-núcleos máximos en 15 campos. Al incluir a la BUAP en este grupo se observó que estas 5 instituciones fueron comiembros de los mismos k-núcleos máximos en 10 campos. La SS y el IMSS fueron comiembros de los mismos k-núcleos máximos en 7 campos junto con la UNAM, el CINVESTAV y el IPN.

Tabla 8
Instituciones que conformaron k-núcleos en 5 o más campos

	los 22 campos	Artes y humanidades	Biología Molecular y Genética	Biología y Bioquímica	Ciencias de la Computación	Ciencia de los Materiales	Ciencia de Plantas y Animales	Ciencias Agrícolas	Ciencias del Espacio	Ciencias Sociales	Economía y Negocios	Farmacología y Toxicología	Física	Geociencias	Ingeniería	Inmunología	Matemáticas	Medicina Clínica	Medio Ambiente/Ecología	Microbiología	Neurociencia y Conducta	Psiquiatría/Psicología	Química
K	18	1	6	7	5	8	12	8	5	5	2	8	10	6	9	5	6	8	7	6	6	5	9
n	37	5	7	16	6	28	20	16	8	26	8	9	19	19	21	11	8	33	19	10	12	8	21
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SECRETARIA DE SALUD	1		1	1			1	1		1		1				1		1	1	1	1	1	1
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	1			1	1			1	1				1		1		1	1					1
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	1		1	1			1			1		1				1		1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	1					1		1		1			1	1	1	1	1	1	1				1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	1		1	1	1	1		1		1					1	1	1	1	1	1			1
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	1			1	1	1	1	1	1				1	1				1	1	1			1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	1		1	1									1	1	1					1	1		1
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	1	1			1				1				1	1	1	1		1					1
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	1				1								1	1	1	1	1		1				1
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	1					1			1				1	1	1				1				1
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY	1	1			1	1		1					1	1	1			1					1
UNIVERSIDAD DE SONORA	1					1		1					1	1	1	1	1						1
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA	1			1		1	1						1	1	1								1

En promedio el grado de centralización de los componentes mayores con base en el grado de entrada de cada uno de los campos fue de 0.54. En cuanto a considerar el grado de salida fue de 0.45. En la tabla 9 se muestran los resultados de identificar las autoridades y concentradores en cada uno de los 22 campos. De los cuales Medicina clínica con 26 instituciones y Ciencias de los materiales con 23 instituciones fueron los campos en que se identificó un número mayor de instituciones con alto reconocimiento por sus pares. En la tabla 10 se puede observar el reconocimiento de la UNAM en 20 campos, del CINVESTAV en 19, el IPN en 18, la UAM en 17 y la SECRETARIA DE SALUD en 13, la BUAP en 11 y el IMSS en 11. En total se identificaron 68 instituciones.

Cabe señalar que la UNAM, el CINVESTAV y el IPN se identificaron como comiembros de los mismos grupos de mayor reconocimiento en 17 campos. Estas tres instituciones junto con la UAM se identificaron como comiembros de los grupos de mayor reconocimiento en 14 campos. La SS y el IMSS se identificaron como comiembros de los grupos de mayor reconocimiento en 9 campos.

Para cada uno de los 22 campos se hizo la intersección de las instituciones miembro del k-núcleo máximo y las instituciones de mayor reconocimiento con lo que se determinaron los miembros de las comunidades de mayor colaboración y reconocimiento para cada campo.

En la Figura 4 se muestra la estructura de las comunidades considerando 21 campos ya que en Artes y Humanidades no se pudo identificar alguna comunidad. En total se identificaron 50 instituciones como miembros de alguna comunidad de los 21 campos. En el anexo 1 se muestra la lista de las 50 instituciones.

Se observó que las universidades e instituciones de educación superior fueron la base de las comunidades científicas en las redes institucionales en cada uno de los 21 campos. En promedio, las comunidades estuvieron integradas por 12 instituciones.

Tabla 9
Instituciones que se identificaron como las más reconocidas en 5 o más campos

	Todos los campos	Artes y Humanidades	Biología Molecular y Genética	Biología y Bioquímica	Ciencias de la Computación	Ciencias de los Materiales	Ciencia de Plantas y Animales	Ciencias Agrícolas	Ciencias del Espacio	Ciencias Sociales	Economía y Negocios	Farmacología y Toxicología	Física	Geociencias	Ingeniería	Inmunología	Matemáticas	Medicina Clínica	Medio Ambiente/Ecología	Microbiología	Neurociencia y Conducta	Psiquiatría/Psicología	Química
n	34	1	7	12	5	23	17	13	6	19	4	7	17	17	15	7	7	26	14	8	12	6	18
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SECRETARIA DE SALUD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD DE SONORA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD VERACRUZANA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Como se puede observar en la Figura 4 es notorio los números traslapes de ciertas instituciones en los diferentes campos. Con objeto de visualizarlas en conjunto se usó el método VOS para determinar su posición en un mapa (Figura 5).

Dicho mapa se hizo usando la frecuencia de colaboración como semejanza entre las instituciones y el total de artículos para determinar el diámetro de los nodos. Si bien Pajek ha permitido hacer dichas representación con base en semejanza desde hace varios años, el uso de la semejanza indirecta representa una mejora considerable.

El trazado de un mapa aplicando Kamada-Kawai con base a semejanza no considera la semejanza indirecta por lo que los nodos que tienen una semejanza muy alta se ubicaron al centro de la representación aun cuando alguno de ellos tenga una semejanza considerable con

algún grupo de nodos lo cuales tengan una semejanza más baja razón por lo que dichos nodos se ubicarán más hacia la parte exterior de la representación. De manera que este método no resulta muy adecuado para nuestro propósito.

El uso de escalamiento multidimensional (MDS) resulta más adecuado, sin embargo el considerar la semejanza indirecta mostró una mejoría. Dicha mejoría se observó al comparar la distancia que se determinó por un lado aplicando MDS y por otro VOS. El 59 % de las 21 comunidades quedaron mejor representadas con VOS ya que sus miembros se ubicaron a menor distancia entre ellos, esto respecto a sus ubicaciones aplicando MDS.

En la estructura científica nacional se observa la relevancia del área de salud particularmente en Medicina Clínica, donde la Secretaría de Salud fue la institución con mayor producción.

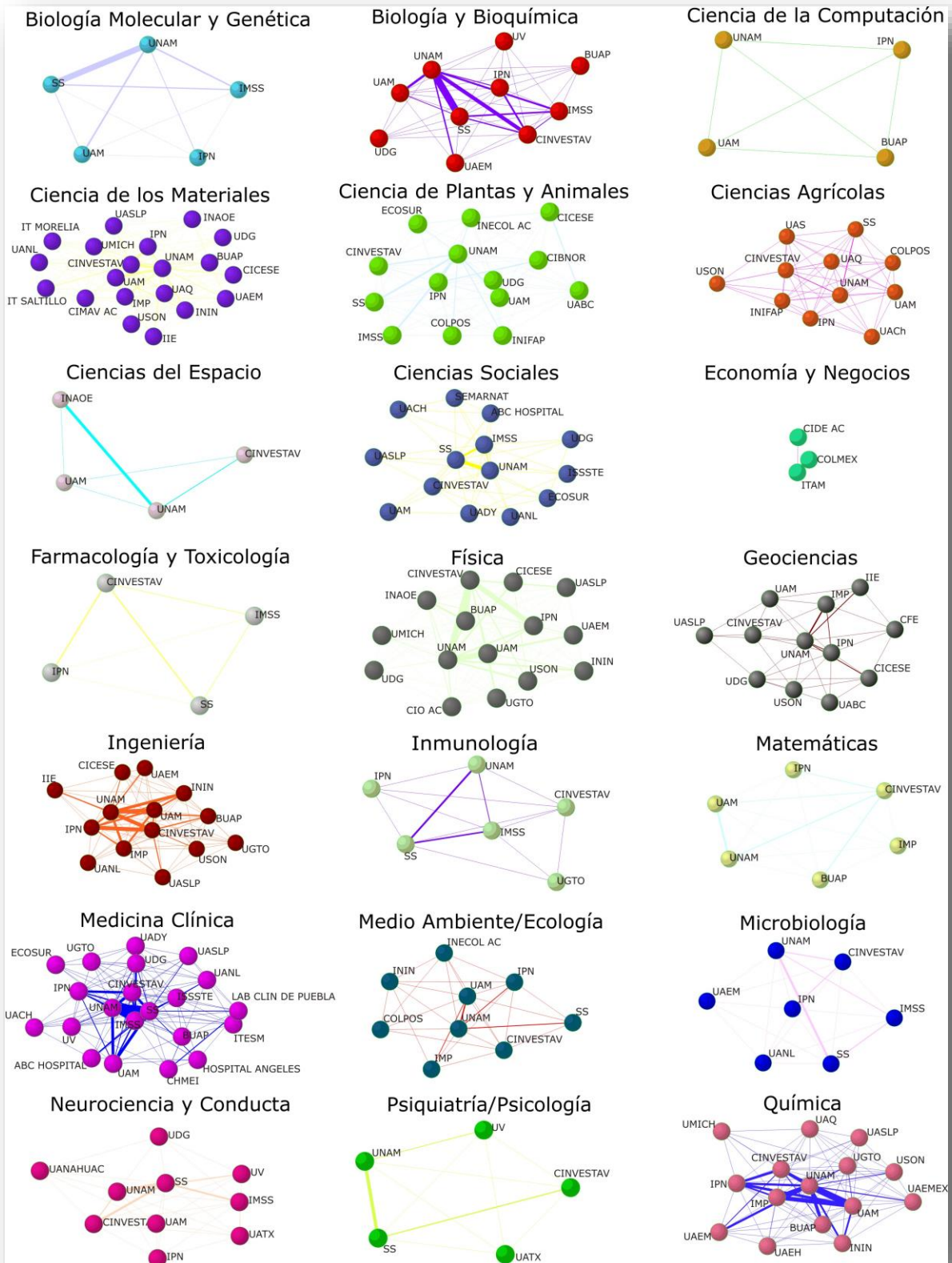


Figura 4. Redes de colaboración de las comunidades científicas identificadas en 21 campos temáticos (1981-2003)

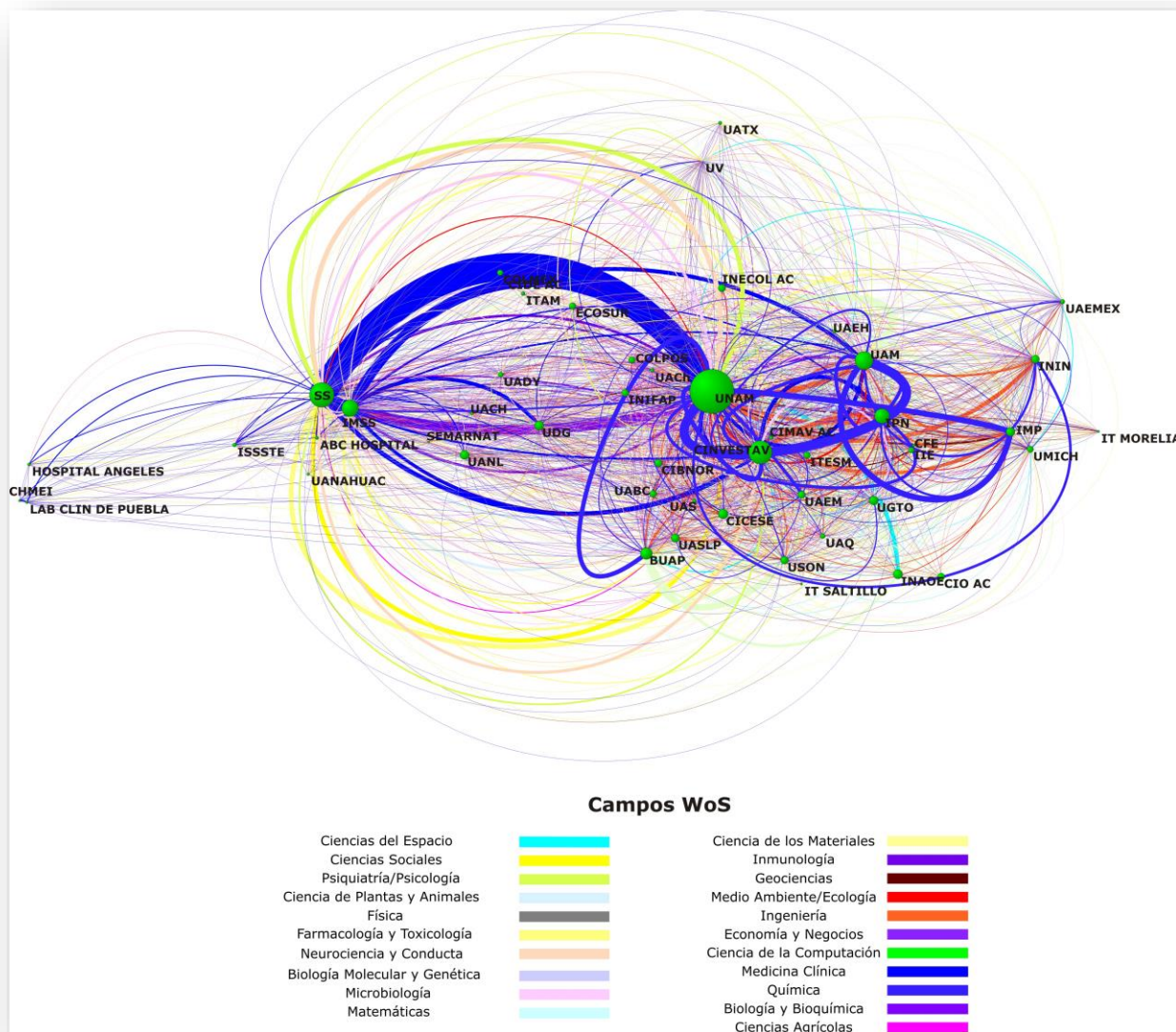


Figura 5. Red de colaboración de las instituciones de las comunidades científicas de 21 campos temáticos (1981-2003)

DISCUSIÓN

El que una red esté conformada o no por varias subredes en las que no haya vínculos entre miembros de distintas subredes, es decir que sea conexa o no puede interpretarse como una medida de cohesión. De manera que al determinar la estructura de una red aplicando Kamada-Kawai considerando su separación por componentes es una forma de medir su cohesión.

En la figura 1 se puede observar la red colaboración aplicando Kamada Kawai considerando solo la existencia de vínculos y la separación de componentes. En ella como se mencionó se pueden identificar varias subredes. En la figura 2 se puede observar que la red de

citación muestra una forma muy parecida, lo cual da muestra de una segmentación a nivel instituciones.

El analizar solo el componente mayor representa considerar al mayor número de actores y sus vínculos, lo que en gran parte determina la dinámica de una red.

El hecho que fueran bastante significativas las medidas de centralización de los componentes mayores de la red de coautoría y la red de citación, tanto al no considerar de forma separada los diferentes campos, como al calcularlas para cada componente mayor de cada una de las 22 áreas da muestra de un grado de centralización considerable de dichas redes. Razón por la que se usó la identificación de k-núcleos máximos para la identificación de

grupos cohesivos en la determinación de comunidades con el mayor número de vínculos entre sus miembros.

El que se haya identificado solo un k-núcleo máximo tanto en las redes en que no se consideró la disciplina como en el caso para cada uno de los 22 campos. Es muestra de que las redes analizadas están centralizadas en dichos K-núcleos, que en promedio estuvieron formados por 12 instituciones.

Whitley (2012) concibe a las ciencias como sistemas de producción de conocimiento que varían en su forma de organización social e intelectual en función de los mecanismos institucionales mediante los cuales hacen la asignación de recursos, otorgan recompensas y establecen conexiones con otros organismos en el sistema global de la ciencia. En su trabajo señala que a finales del siglo XIX y principios del XX, las disciplinas que tuvieron su base en las universidades unificaron redes asociadas a reputaciones, las estructuras de empleo y los programas de formación.

También menciona que la formación y consolidación de élites que determinan estándares sobre el acceso a recursos, comunicación científica, agendas de investigación, se da con mayor facilidad en Estados centralizados y cuanto más fuerte sea la jerarquía de prestigio intelectual entre universidades.

El que la base de las comunidades científicas identificadas con base en un alto grado de producción, colaboración y reconocimiento por sus pares, fueran las universidades, tanto en las redes completas de colaboración y citación, como en cada uno de los 22 campos da muestra de una organización basada en reputaciones. Y con base en los criterios con que se determinaron dichas comunidades se puede considerar a las 30 instituciones que se identificaron en las redes en que no se hizo una distinción disciplinar, como la élite del sistema. La tabla 4 y la tabla 5 en las que se presentan las instituciones con mayor producción y con mayor reconocimiento reflejan una jerarquía de prestigio muy marcada.

Los resultados destacan la participación de un subgrupo particular de dicha élite. En su trabajo Luna Molares (2009) menciona que hacia el periodo de 1960-1982 y a partir de la autonomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, se desencadenaron una serie de sucesos que dieron paso al proceso de institucionalización y profesionalización de la ciencia mexicana. Esto conllevó la creación de otras instituciones de entre las que destacan la Secretaría de Salud, el Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, el

Instituto Mexicano del Seguro Social, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional y la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y estas siete instituciones han sido las más representativas del desarrollo de la ciencia en México. Como parte de los resultados obtenidos se observa en la tabla 7 que dichas instituciones aparecen en los primeros siete lugares con mayor producción científica.

De acuerdo a la caracterización de instituciones por sectores de Díaz Aguilar (2011) y con una menor posición central respecto a las instituciones ya mencionadas, otros actores que se suman a la participación del Instituto Mexicano del Petróleo son: el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, mismas que destacan la participación del sector gubernamental en la constitución de las comunidades científicas identificadas. La autora menciona que el sector académico junto con el gubernamental y el de salud son los que cuentan con los recursos humanos, de infraestructura y financieros para generar investigación.

CONCLUSIONES

Los resultados nos llevan a considerar que en el caso de México, en el periodo analizado el sistema de producción científica en México fue de Modo 1, el cual según Whitley (2012) se caracteriza por estar dominado por disciplinas basadas en la Universidad y por élites científicas disciplinarias que controlan los recursos y establecen los estándares mediante los cuales se juzgan los resultados y la importancia de la investigación.

El considerar todos los lazos que se establecieron derivados de la actividad en los 22 campos temáticos se genera un sesgo bastante significativo, ya que al considerar los campos de forma individual se identificaron 20 instituciones más. Sin embargo esto puede dar muestra de una colaboración multidisciplinar alta por parte de las 30 instituciones que se identificaron al considerar la red en que no se hizo la distinción disciplinar, como se puede observar en la Figura 5 en que los múltiples vínculos entre las instituciones están representados por líneas de diferentes colores.

Dado que la colaboración y la citación son prácticas científicas constantes y consistentes que vinculan a los científicos en función de normas o leyes, una aproximación a la identificación de comunidades científicas es

mediante el análisis de la red de coautorías y la red de citas. Con base a lo anterior y considerando la filiación de los investigadores, se pueden definir redes de instituciones, con las cuales se puede estudiar la organización de la ciencia, mediante la identificación de comunidades científicas institucionales desde un enfoque estructuralista.

Hay siete instituciones que forman parte de la comunidad científica en la red general y de las comunidades en las redes de un gran número de campos temáticos: la Universidad Nacional Autónoma de México, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana y la Secretaría de Salud, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el Instituto Mexicano del Seguro Social. Mismas que son muestra de que la base de las comunidades científicas en México han sido las universidades, las instituciones de educación superior y el sector público de salud.

Con base a la producción científica registrada en la base de datos Web of Science en el período de 1981 a 2003, la Universidad Nacional Autónoma de México es el actor más importante dentro de la estructura científica del país y es la institución de educación superior con mayor reconocimiento.

REFERENCIAS

- Ainsworth, S., Russell, J. M., Narváez-Berthlemont, N., & Arriaga Pérez, J. O. (2014).** Mapeo de la colaboración de ciencia y tecnología entre México y Francia a través de un análisis de co-publicaciones 1984-2010. En M. Kleiche-Dray, & D. Villavicencio, *Cooperación, colaboración científica y movilidad internacional en América Latina* (págs. 49-74). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CLASO.
- Barabasi, A.L. (2002).** Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A*, 311, 590-614. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00736-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00736-7)
- Katy Böerner, K., & Scharnhorst, A. (2009).** Visual Conceptualizations and Models of Science. *Journal of Informetrics*, 3(3). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2009.03.008>
- Casas Guerrero, R. (1980).** La idea de comunidad científica: su significado teórico y su contenido ideológico. *Revista Mexicana de Sociología*, 42(3), 1217-1230. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/3539999>
- Collazo-Reyes, F. (2012).** *Modelo teórico metodológico para analizar la visibilidad internacional de las ciencias físicas en América Latina y el Caribe*. Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Collazo-Reyes, F., Luna-Morales, M. E., Russell, J. M., & Pérez-Angón, M. A. (2009).** Publication and citation patterns of the Latin America and Caribbean journals in the SCI from 1995 to 2004. *Scientometrics*, 75(1), 145-161. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-007-1841-6>
- Crane, D. (1969).** Social structure in a group of scientists: a test of the invisible college hypothesis. *American Sociological Review*, 34(3), 335-352. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2092499>
- de Granda-Orive, J. I., Alonso-Arroyo, A., García-Río, F., Solano-Reina, S., Jiménez-Ruiz, C. A., & Aleixandre-Benavent, R. (2013).** Ciertas ventajas de Scopus sobre Web of Science en un análisis bibliométrico sobre tabaquismo. *Revista Española de Docencia Científica*, 36(2): e011, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2013.2.941>
- De Nooy, W., Mrvar, A., & Batagelj, V. (2005).** *Exploratory social network analysis with Pajek*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Díaz Aguilar, J.J. (2011).** *Redes de colaboración científica en México: 2001-2005*. Tesis de maestría. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Di Battista, G., Eades, P., Tamassia, R., & Tollis, I.G. (1999).** *Graph drawing: algorithms for the visualization of graphs*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Faust, K. (2002).** Las redes sociales en las ciencias sociales y del comportamiento. En: Gil Mendieta, J., Schmidt, S. (eds). *Análisis de redes: aplicaciones en ciencias sociales* (pp 1-14). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Freeman, L. C. (2002).** Detectando grupos sociales en datos cuantitativos. En: Gil Mendieta, J., Schmidt, S. (eds). *Análisis de redes: aplicaciones en ciencias sociales* (pp. 23-40). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Freeman, L. C. (2005).** *The development of social network analysis*. Vancouver: Empirical Press.
- Garfield, E. (1979).** Is citation analysis a legitimate evaluation tool? *Scientometrics*, 1, 369-375. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02019306>

- Garfield, E. (1975).** Citation Analysis Studies. *Science: Letter to the Editor*, 189(4200), 397. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.189.4200>
- Garfield, E., & Welljams-Dorf, A. (1992).** Citation data: their use as quantitative indicators for science and technology evaluation and policy-making. *Science and Public Policy*, 19(5), 321-327. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/spp/19.5.321>
- Gil Mendieta, J., & Ruiz León, A. A. (2009).** Análisis de las publicaciones de investigadores del Subsistema de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México 1981-2003. *REDES, Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 17, 1-38. doi: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/redes.373>
- González-Alcaide, G. (2008).** Coauthorship networks and institutional collaboration patterns in reproductive biology. *Fertility and Sterility*, 90(4), 941-956. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.07.1378>
- Hernández García, Y. I. (2009).** *Estudio de colaboración científica institucional y desarrollo de áreas temáticas de interés: una aproximación bibliométrica*. Tesis de maestría. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Homans, G. C. (1950).** The human group. Brace and Company: New York. Harcourt.
- Kulkarni, A. V., Aziz, B., Shams, I., & Busse, J. W. (2009).** Comparisons of Citations in Web of Science, Scopus, and Google Scholar for Articles Published in General Medical Journals. *JAMA*, 302(10), 1092-1096. doi: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2009.1307>
- Leydesdorff, L. (2008).** International collaboration in science and the formation of a core group. *Journal of Informetrics*, 2(4), 317-325. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2008.07.003>
- Leydesdorff, L. (1998).** *Theories of citation? Scientometrics*, 1, 5-25. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02458391>
- Luna Morales, M. E. (2009).** *La maduración de la ciencia mexicana: un análisis histórico bibliométrico de su desarrollo de 1980-2004*. Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Palla, G., Barabasi, A. L., & Tamás, V. (2007).** Quantifying social group evolution. *Nature*, 446, 664-667. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nature05670>
- Russell, J.M. (2002).** Scientific communication at the beginning of the twenty-first century. *International Social Science Journal*, 53(168), 271-282. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/1468-2451.00314>
- Salomón, J. J., Sagasti, F. R., & Sachs-Jeantet, C. (1994).** *Introduction: from tradition to modernity. The uncertain quest: Science, technology and development*. New York: United Nations University.
- Santa, S., & Herrero-Solana, V. (2010).** Cobertura de la ciencia de América Latina y el Caribe en Scopus vs Web of Science. *Investigación Bibliotecológica*, 24(52), 13-27.
- Scott, J., & Carrington, P. J. (2012).** The SAGE Handbook of Social Network Analysis. London: Sage.
- Tomassini, M., & Leslie, L. (2007).** Empirical analysis of the evolution of a scientific collaboration network. *Physica A*, 385, 750-764. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2007.07.028>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010).** Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Velez-Cuartas, G., Lucio-Arias, D., & Leydesdorff, L. (2016).** Regional and Global Science: Publications from Latin America and the Caribbean in the SciELO Citation Index and the Web of Science. *El profesional de la información*, enero-febrero, 25(1), 35-46.
- Waltman, L., Van Eck, N. J., & Noyons, E. C. M. (2010).** A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *Journal of Informetric*, 4, 629-635. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.002>
- Wellman, B., & Berkowitz, S. D. (1988).** *Social structures. A network approach*. New York: Cambridge University Press.
- Whitley, R. (2012).** *La organización intelectual y social de las ciencias*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Yousefi-Nooraie, R., Akbari-Kamrani, M., Hanneman, R. A., & Etemadi, A. (2008).** Association between co-authorship network and scientific productivity and impact indicators in academic medical research centers: A case study in Iran. *Health Research Policy and Systems*, 6(9), 1-9.
- Zazo Rodríguez, A. F., Ardines González, A., & Castro Martínez, E. (2015).** Redes de colaboración de las unidades de investigación de la Universidad de Panamá: investigación,

desarrollo e innovación. *REDES, Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 26(2), 84-117. doi: <http://dx.doi.org/10.5565/rev/redes.539>

Ziman, J. (1988). *An introduction to science studies: The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Anexo 1. Las 50 instituciones que formaron las comunidades.

Institución	Siglas
AMERICAN BRITISH COWDRAY HOSPITAL	ABC HOSPITAL
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	BUAP
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA AC	CIO AC
CENTRO DE HEMATOLOGIA Y MEDICINA INTERNA	CHMEI
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA	CICESE
CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS SC	CIMAV SC
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	CINVESTAV
CENTRO DE INVESTIGACION Y DOCENCIA ECONOMICAS AC	CIDE
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLOGICAS DEL NOROESTE SC	CIBNOR
COLEGIO DE POSTGRADUADOS	COLPOS
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	CFE
EL COLEGIO DE MEXICO	COLMEX
EL COLEGIO FRONTERA SUR	ECOSUR
HOSPITAL ANGELES	HOSPITAL ANGELES
INSTITUTO DE ECOLOGIA AC	INECOL AC
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS	IEE
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS	INIFAP
INSTITUTO DE SEGURIDAD Y SERVICIOS SOCIALES DE LOS TRABAJADORES DEL ESTADO	ISSSTE
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO	IMP
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL	IMSS
INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFISICA OPTICA Y ELECTRONICA	INAOE
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	ININ
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	IPN
INSTITUTO TECNOLOGICO AUTONOMO DE MEXICO	ITAM
INSTITUTO TECNOLOGICO DE MORELIA	ITMORELIA
INSTITUTO TECNOLOGICO DE SALTILLO	ITSALTILLO
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY	ITESM
LABORATORIOS CLINICOS DE PUEBLA	LAB CLIN DE PUEBLA
SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	SEMARNAT
SECRETARIA DE SALUD	SS
UNIVERSIDAD ANAHUAC	UANAHUAC
UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO	UACH
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA	UABC
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA	UACH
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	UANL
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO	UAQ
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	UASLP
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SINALOA	UAS
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE TLAXCALA	UATX
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE YUCATAN	UADY
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO	UAEH
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO	UAMEX
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MORELOS	UAEM
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	UAM
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	UDG
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	UGTO
UNIVERSIDAD DE SONORA	USON
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO	UMICH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	UNAM
UNIVERSIDAD VERACRUZANA	UV

