
ESTUDIOS / RESEARCH STUDIES

Lo local y lo global de la colaboración científica: ¿qué significa, y cómo visualizarlo y medirlo?

Nina Jung*, Alejandro Arnulfo Ruiz-León**

*Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación, Universidad Nacional Autónoma de México
Correo-e: nina@unam.mx | ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4108-105X>

**Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México
Correo-e: rarnulfo@unam.mx | ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4543-6874>

Recibido: 15-02-2017; 2ª versión: 09-08-2017; Aceptado: 06-09-2017.

Cómo citar este artículo/Citation: Jung, N.; Ruiz-León, A. A. (2018). Lo local y lo global de la colaboración científica: ¿qué significa, y cómo visualizarlo y medirlo?. *Revista Española de Documentación Científica*, 41 (2): e203. <https://doi.org/10.3989/redc.2018.2.1463>

Resumen: En un contexto en que hay gran interés en intensificar la colaboración internacional dentro de la práctica científica, este trabajo plantea un acercamiento sobre cómo medir y visualizar el trabajo colaborativo internacional a nivel institucional. Como caso de estudio consideramos las tres áreas del Subsistema de Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México. La información se obtuvo de la base de datos Web of Science, Core Collection y consideramos la producción con participación de instituciones extranjeras (coautoría), en el periodo 1981 a 2013. Para medir la colaboración internacional construimos un índice con base en el número de colaboraciones por institución, en que dichos vínculos se ponderaron a partir de su consistencia durante el periodo considerado. Otro índice toma en cuenta las instituciones extranjeras y países de origen. Visualizamos las redes con Pajek.

Palabras clave: redes académicas; colaboración internacional; UNAM; práctica científica.

The local and the global of scientific collaboration: what does it mean and how to visualize and measure it?

Abstract: In a context in which there is great interest in intensifying international collaboration within scientific practice, this paper presents an approach on how to measure and visualize international collaborative work at the institutional level. As a case study, the three areas in scientific research of the National Autonomous University of Mexico were considered. The information was obtained from the Web of Science database, Core Collection, and all production made with participation of foreign institutions (co-authorship) from 1981 until 2013 was also considered. In order of measuring the international collaboration, we built an index based on the number of collaborations per institution, weighting these links on the base of their consistency during the considered period. A second index was calculated taking into account foreign institutions and countries of origin. Visualizations were made with Pajek.

Keywords: academic networks; international collaboration; UNAM; scientific practice.

Copyright: © 2018 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

1. INTRODUCCIÓN

El 30 de septiembre de 2016 la revista *Nature* publicó una nota en su página en internet con el título "Por qué tienes que colaborar" (Kaplan, 2016). La respuesta: porque así funciona la ciencia hoy en día, y eso concierne a todos los actores en la academia: países, instituciones y personas, desde estudiantes de posgrado e investigadores jóvenes hasta los más consolidados.

La colaboración se da en gran medida por poder acceder tanto a recursos económicos como a nuevos conocimientos; sin duda, actualmente la internacionalización es un factor que determina dicho acceso acorde con el contexto del momento. Bajo una dinámica actual que se manifiesta como un flujo internacional multilateral de conocimiento a través de diversos medios, cuyo resultado más allá de materializarse en productos tangibles (como son los documentos científicos, entre ellos los artículos) está el hecho del surgimiento de formas más duraderas de colaboración institucional (Villavicencio y Kleiche-Dray, 2014; Ainsworth y otros, 2014).

Es así que bajo los modos actuales de creación de conocimiento surge el interés por saber que tan fuertes son los lazos internacionales de colaboración de las redes académicas a nivel institucional. En este trabajo abordamos el aspecto de cómo medir la colaboración internacional de la práctica científica. En particular nos interesa la fortaleza de la colaboración internacional.

Con el objetivo de medir la fortaleza de dichos lazos consideramos la producción con participación de instituciones extranjeras en el Subsistema de Investigación Científica (SIC) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Argumentamos que la perspectiva transnacional que adaptamos nos permite hablar de la "fuerza real" de la colaboración, sin sólo centrarnos en el número absoluto de colaboraciones transfronterizas. Nos guiamos por las siguientes preguntas: ¿De qué manera es posible medir la colaboración científica internacional? Y ¿Cómo determinar la fortaleza de los lazos a nivel institucional de la colaboración?

Hay varias aportaciones que estudian los distintos aristas de la colaboración científica, tanto nacional como internacional. Sin embargo, ningún trabajo hace énfasis en la fortaleza de estas colaboraciones, ni mucho menos considerándolo a nivel local y/o global. A continuación haremos mención de algunos de los trabajos que nos han dado ideas para la elaboración de este artículo.

1.1. Colaboración científica internacional en el contexto latinoamericano

Una gran parte de los estudios sobre la colaboración científica en general se basa en la coau-

toría como una de sus formas más tangibles y documentadas de la colaboración (Glänzel y Schubert, 2004; Russell y otros, 2009; Ainsworth y otros, 2014). Como práctica social y derivado de la interacción interpersonal entre los autores se establecen redes de coautoría complejas que evolucionan, cuyo estudio es un acercamiento a la organización social y patrones de comportamiento de los científicos (Crane, 1969; Barabasi, 2002; Glänzel y Schubert, 2004; Tomassini y Leslie, 2007; Leydesdorff, 2008).

El artículo "*Ciencia Regional y Global: Publicaciones de América Latina y el Caribe en SciELO Citation Index y el Web of Science*" de Vélez-Cuartas y otros (2016) nos ofrece un punto de vista del análisis bibliométrico para el caso de América Latina y el Caribe. El principal objetivo es la comparación de la visibilidad de las publicaciones desarrolladas en la región a través de las bases de *Web of Science (WoS)* y *Scientific Electronic Library Online Citation Index (SciELO CI)*. Se busca entender la comunicación del conocimiento científico que se ha producido en América Latina y así concluir cuáles son las contribuciones tanto por región geográfica como por disciplina. El enfoque conceptual principal de ese artículo se centra en el análisis de la comunicación científica a nivel global. Sin embargo, su análisis no hace hincapié en la situación regional y local de las estructuras institucionales en cuestión. Lo que a cambio de este trabajo proponemos es agregar el punto de vista local adaptando un enfoque transnacional para estudiar el panorama de la investigación científica de la UNAM.

Un trabajo que estudia las relaciones institucionales entre países es el de Russell y otros (2009) sobre "*El análisis de redes en el estudio de la colaboración científica*", en el cual realizan un análisis de colaboraciones científicas bilaterales entre países en Latinoamérica en un periodo de 30 años. El análisis de la estructura científica en el tiempo nos ha llevado al planteamiento de cómo analizar la consistencia de los vínculos a través del tiempo.

En el artículo de Ruiz León y Russell (2016) "*La estructura del sistema científico de México a finales del siglo XX: una visión a nivel de instituciones*" se analiza el sistema científico mexicano, la colaboración y el reconocimiento en la identificación de comunidades científicas institucionales tomando en cuenta 22 campos temáticos. Usando la información sobre producción científica de México indizada en la base de datos *Web of Science (WoS)* entre 1981 y 2003, los autores aplicaron las siguientes técnicas para su análisis: las subredes de máxima colaboración y de máximo reconocimiento, así como la visualización de semejanzas con el fin de determinar la estructura del sistema

científico. Se pudo notar que existe una diferencia por campos temáticos. No obstante, dicho artículo se centra en el análisis del sistema científico a nivel nacional. Lo que ahora nos gustaría comprobar es si existe o no una diferencia a nivel temático en la colaboración internacional.

Vélez-Cuarta y otros (2014) hacen una interesante contribución con el texto "*Diversidad y reconocimiento de la producción académica en los sistemas de evaluación de la investigación en Colombia*", en el que los autores nos presentan, basado en productos de investigación que son resultados de las seis mejores universidades en Colombia, así como del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, que "la discusión internacional acerca de lo que debe o no medirse para dar cuenta del impacto de la investigación académica y científica aún hace invisibles muchas formas de producción que revelan construcción de nuevo conocimiento". En nuestra propuesta vamos a hacer visible la dimensión de la fortaleza de lo local y lo global de la colaboración científica internacional. No queremos nada más destacar números absolutos de dicha colaboración, sino adoptar una perspectiva relativa y relacional respecto a nuestro objeto de estudio: las colaboraciones científicas a nivel internacional por parte de las entidades académicas del Subsistema de Investigación Científica (SIC) de la UNAM.

Nos interesa la fortaleza y la continuidad de la colaboración científica internacional, y de qué manera dicha colaboración tiene un impacto tanto a nivel local como global. Para evaluar este impacto consideramos pertinente revisar la literatura acerca de cómo medir la colaboración científica internacional.

1.2. Construcción de índices de medición

Con base en la coautoría individual se pueden definir otros niveles de agregación, local, regional o internacional, y consecuentemente se puede abordar el estudio de la colaboración en dichos niveles. En cada caso estos estudios se hacen a partir del análisis de elementos bibliográficos de autoría de los documentos como son las afiliaciones institucionales (Melin y Persson, 1996; Glänzel y Schubert, 2004; Russell y otros, 2009).

En su trabajo "*An index to measure the international collaboration of developing countries based on the participation of national institutions: The case of Latin America*", Narváez-Berthelemon (1995) desarrolló un índice para medir la colaboración internacional de Latinoamérica basado en la participación de las instituciones nacionales, dividiendo el número de instituciones participantes por la cantidad de documentos producidos (índice de Cobertura IC). El IC da muestra del grado de

participación en cuanto al número de instituciones en la elaboración de un documento. Si en vez de instituciones se consideraran países, estaríamos midiendo la colaboración internacional multilateral (Glänzel y Lange, 2002), y con base en el índice de colaboración multilateral, sus autores mencionan que en general los beneficios de la participación en proyectos multilaterales es su impacto. Recientemente se obtuvo un resultado similar al estudiar la influencia de la colaboración internacional bilateral en la práctica de investigación en España (Bordons y otros, 2015).

Considerando la temporalidad de la colaboración, en que conforme transcurre el tiempo el impacto de la colaboración disminuye, Ruiz Baños y Bailón-Moreno (1997) mencionan que el estudio del envejecimiento puede hacerse mediante dos aproximaciones: primero considerando partir de un momento particular en el tiempo, y segundo considerando el impacto de un conjunto de documentos. Ruiz Baños y Jiménez-Contreras (1996) con base en el modelo de obsolescencia de B.C. Brookes mostraron una diferencia significativa entre un conjunto de revistas especializadas en el ámbito de la Documentación. La literatura en inglés presenta un envejecimiento moderado en comparación con la literatura en otros idiomas, cuyo envejecimiento es más rápido.

Como muestran los trabajos antes mencionados, la conceptualización de cómo medir la colaboración no es tarea sencilla, esto si pensamos en que los resultados de dicha medición pueden representar un incremento en número de publicaciones, o de manera más amplia en un incremento en capacidades de investigación, y si es así, esto es a nivel individual, de grupo o de alguna temática en particular (Lee y Bozeman, 2005).

En el presente artículo proponemos un índice tomando en cuenta tiempo, instituciones, países y las colaboraciones (coautorías). Lo que tratamos de descubrir a través del índice es que si con el tiempo podemos observar una consistencia o un patrón repetitivo en la colaboración. Nos enfocamos en analizar la fortaleza de los lazos de colaboración internacional a nivel institucional, y cómo integrar esta medición tanto a nivel local como a nivel global.

1.3. Colaboración científica internacional como integración local-global

Sin duda, el avance tecnológico facilita las actividades transfronterizas, así como las conexiones locales y globales al mismo tiempo (Rainie y Wellman, 2012); ha tenido varias consecuencias, entre ellas "la circulación internacional de personas, bienes,

servicios y capitales” (Emmerich y Pries, 2011). Este proceso se conoce bajo el término de la transnacionalización. La colaboración científica no queda fuera de este fenómeno.

Colaboraciones con colegas de otros lados del mundo siempre han sido una práctica en la ciencia y se han vuelto cada vez más relevantes. Entre los hallazgos que Russell y otros (2009) destacan en su artículo *El análisis de redes en el estudio de la colaboración científica* para caracterizar la colaboración científica bilateral, que observaron en un periodo de 30 años, mencionan en primer lugar que hay un marcado aumento en los volúmenes de artículos que se escribieron en coautoría entre dos o más países en el caso latinoamericano. En segundo lugar mencionan el aumento en el número de países y las frecuencias de sus participaciones en la colaboración.

En el ámbito de la ciencia, actualmente en el trabajo colaborativo las estructuras institucionales y disciplinarias se enfrentan al reto de un contexto global. Reto que ha llevado a la creación de iniciativas como el *e-Science* en el Reino Unido, el cual se anunció como un programa de colaboración global en áreas clave de la ciencia, y de desarrollo de la generación siguiente de infraestructura. Este tipo de iniciativas muestran que la práctica científica contemporánea se caracteriza por ser un trabajo muy colaborativo, multidisciplinario, global y con un manejo intensivo de datos (Jirotko y otros, 2013).

Lo anterior nos demuestra que la tendencia en la investigación científica parece tomar un curso “pro” colaboración científica internacional en general. Por su creciente relevancia merece la pena su estudio. No obstante, nuestro artículo no es un estudio enfocado a la colaboración en sí, sino lo que queremos destacar es la relevancia y la relación que existe entre espacios sociales de colaboración a nivel internacional que integran prácticas sociales tanto en la dimensión global como local. En otras palabras, la colaboración científica es una práctica social (Jirotko y otros, 2013), que de acuerdo a Rainie y Wellman (2012) lleva a la formación de comunidades dinámicas que se pueden representar mediante redes, y aparte en diferentes niveles de agregación: locales, regionales, internacionales (Melin y Persson, 1996; Glänzel y Schubert, 2004; Russell y otros, 2009) o globales.

De manera que el término colaboración científica para De Filippo y otros (2014) “incluye una amplia gama de relaciones y actividades conjuntas entre grupos de investigación e instituciones en las que las características y el alcance de estas colaboraciones pueden ser muy variables” (De Filippo y otros, 2014), además de diferentes localidades, que en

su conjunto integran un espacio social transnacional (Jung, 2014) que tiene la ventaja que percibe el espacio como un fenómeno relacional en el que varias localidades (geográficas) pueden estar vinculadas a un solo evento social o viceversa. Esto es la fortaleza del enfoque transnacional que adaptamos en el presente artículo para hablar de lo global y lo local en la colaboración científica internacional.

Emmerich y Pries (2011) al definir la transnacionalización hacen énfasis en los “múltiples lazos e interacciones que vinculan personas o instituciones a través de las fronteras de los Estados-nación” (p.5) y que “en algunos casos se fortalecen por momentos y luego se diluyen otra vez, pero también pueden conducir al surgimiento de espacios sociales transnacionales relativamente estables y durables” (Pries, 2011).

En el escenario internacional De Filippo y otros destacan que la colaboración se expresa principalmente a través de la producción de publicaciones en coautoría. Sus colaboradores pueden pertenecer al mismo país y a la misma institución, pero también a entidades académicas en el extranjero. “El caso más complejo lo constituye la cooperación entre numerosos países con participación de diversas instituciones constituyendo las grandes redes de colaboración” (De Filippo y otros, 2014).

Este escenario lo pudimos comprobar empíricamente con el ejemplo que escogimos en el marco de este artículo y que desarrollaremos más adelante. Con nuestro caso empírico, el Subsistema de Investigación Científica (SIC) de la UNAM, mostramos qué tan durables son las colaboraciones, a través de un índice que desarrollamos que da una respuesta a la fortaleza en términos de la durabilidad, y la estabilidad de la colaboración científica internacional.

Para los científicos el contacto con materiales en otros idiomas, los congresos, la vinculación con colegas de otros países, entre muchas otras son situaciones a las que se enfrentan con frecuencia hoy en día. Jung (2016) en su estudio sobre investigadores jóvenes destaca que dichos individuos afirman que es importante irse al extranjero y tener colaboraciones internacionales. Fueron casos de académicos de la UNAM, en investigación científica y es una postura que se afirma también entre algunos de los objetivos del SIC de la UNAM, nuestro caso de estudio: “reforzar los nexos con la comunidad científica nacional e internacional” (CIC-UNAM, 2015).

Nos preguntamos cuándo una práctica (en general y en la ciencia) representa tanto un nexo local como uno global. Como habíamos dicho al principio de este apartado a partir del trabajo de Russell y

otros (2009), cuando existen coautorías entre (personas de instituciones de) dos o más países. Los "nexos con la comunidad nacional e internacional" como se mencionan en los objetivos del SIC de la UNAM, requieren lazos tanto locales como globales.

Wenger (2001) hace una contribución interesante al respecto al decir que ninguna actividad (práctica) es global en sí misma. Incluso cuando se trata directamente con cuestiones globales, la misma práctica es local. Se crean relaciones pero no tanto entre lo global y lo local, sino "entre diversas localidades en su constitución de lo global" (p.279). Es decir, aunque una práctica sea de carácter global, nunca pierde su compromiso local.

A continuación proponemos una metodología con la que se pueden medir y visualizar estos nexos.

2. METODOLOGÍA

A continuación exponemos nuestro caso de estudio. Posteriormente a la obtención y sistematización de los datos seguimos dos caminos complementarios: la construcción de un índice de colaboración científica internacional y la visualización de los patrones de colaboración científica internacional para comprobar el valor informativo y analítico del índice.

2.1. El caso de estudio

Como caso de estudio consideramos los centros e institutos del SIC de la UNAM los cuales están agrupados en tres áreas de conocimiento. A saber: Ciencias Físico-Matemáticas, Ciencias Químico-Biológicas y de la Salud, y Ciencias de la Tierra e Ingenierías (CIC-UNAM, 2015). El estudio lo realizamos con base en las prácticas de los académicos afiliados a dichas entidades académicas colaborando con autores afiliados a instituciones extranjeras. Esto en el periodo de 1981 a 2013. El número total de entidades en el subsistema fue 30 (tabla I).

La fuente de la información fue la base de datos Web of Science (WoS) considerando los siguientes índices: Science Citation Index (SCI), Social Sciences Citation Index (SSCI), y Arts and Humanities Science Citation Index (AHSC). En la consulta hecha en febrero de 2014 establecimos el valor MEXICO en el campo *país*. Con base en el campo *tipo de documento* consideramos solo los artículos. Con base en el campo *dirección* identificamos, por una parte, la producción de las 30 entidades académicas del SIC de la UNAM. Para ello revisamos cada una de las direcciones asociadas a cada uno de los artículos y verificamos aquellas que correspondieran a alguna de dichas entidades. Por otra parte, una vez que identificamos los artículos correspondientes a las entidades del SIC, procedimos a revisar las otras di-

recciones asociadas a cada artículo con lo que identificamos las instituciones extranjeras coautoras.

2.2. Índice de colaboración científica internacional

Vamos a tomar en cuenta la contemporaneidad de la colaboración, el "envejecimiento de documentos" (Ruiz Baños y Jiménez-Contreras, 1996; Ruiz Baños y Bailón-Moreno, 1997) y también la durabilidad de la colaboración. Como hemos mencionado antes, las relaciones desde la perspectiva transnacional pueden ser espontáneas y diluirse rápidamente o pueden llegar a formarse relaciones y redes duraderas (Pries, 2011). Nos interesa ver que tan consistentes y durables son las relaciones entre las instituciones en cuestión y otras instituciones extranjeras.

Construimos cuatro índices para medir la fortaleza de la colaboración científica internacional:

- Índice basado en número total de colaboraciones y el número de años de colaboración (Índice 1).
- Índice basado en el índice 1 y considerando el número de colaboraciones efectivas (Índice 2).
- Índice basado en la frecuencia de la colaboración y la actualidad (Índice 3).
- Índice basado en el número de instituciones por país (Índice 4).

Índice 1

Este índice lo construimos como el promedio del total de colaboraciones (TCol) entre el número de años del periodo en que se dieron dichas colaboraciones (NA), para cada una de las instituciones extranjeras con las que cada entidad colaboró.

$$ICI_1E_i = \frac{\sum_{j=1}^{NE_i} (TColl_j/NA_j)}{NE_i}$$

Donde:

ICI₁E_i es el índice de colaboración internacional de la entidad *i*.

NE_i es el número de instituciones extranjeras con las que colaboró la entidad *i*.

TColl_j es el total de colaboraciones con la institución *j*.

NA_j es el total de años del periodo en que se dieron las colaboraciones con la institución *j*.

Tabla I. Entidades del Subsistema de Investigación científica de la UNAM en el año 2013

ENTIDAD	Siglas
Centro de Ciencias de la Atmósfera	CCA
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico	CCADET
Centro de Ciencias Genómicas	CCG
Centro de Ciencias Matemáticas	CCM
Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada	CFATA
Centro de Geociencias	CGEO
Centro de Investigaciones en Ecosistemas	CIECO
Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental	CIGA
Centro de Nanociencias y Nanotecnología	CNyN
Centro de Radioastronomía y Astrofísica	CRYA
Instituto de Astronomía	IA
Instituto de Biología	IB
Instituto de Biotecnología	IBT
Instituto de Ciencias Fisca	ICF
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	ICMYL
Instituto de Ciencias Nucleares	ICN
Instituto de Ecología	IE
Instituto de Energías Renovables	IER
Instituto de Física	IF
Instituto de Fisiología Celular	IFC
Instituto de Geofísica	IGF
Instituto de Geografía	IGG
Instituto de Geología	I GL
Instituto de Ingeniería	II
Instituto de Investigaciones Biomédicas	IIB
Instituto de Investigaciones en Materiales	IIM
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas	IIMAS
Instituto de Matemáticas	IM
Instituto de Neurobiología	INB
Instituto de Química	IQ

Índice 2

El segundo índice lo construimos ponderando el índice 1 al considerar solo la parte proporcional de los años en que hubo colaboraciones en relación con el periodo en que se dieron las colaboraciones con cada institución j .

$$ICI_2E_i = \frac{\sum_{j=1}^{NE_i} (TColl_j) \left(\frac{NPE_j}{NA_j}\right)}{NE_i}$$

NPE_j es el número de años en que hubo colaboraciones con la institución j .

Índice 3

El tercer índice lo construimos considerando el envejecimiento de las colaboraciones. Esto se hizo ponderando las colaboraciones con base en el inverso del número de años transcurridos desde la publicación de cada documento en que hubo una colaboración, hasta el año de corte N , que en este caso fue el año de 2013, y multiplicado por la parte proporcional de años en que hubo colaboraciones, para cada entidad y para cada institución extranjera con que colaboró cada una de ellas.

$$ICI_3E_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^{NE_i} \left(\frac{NPE_j}{NA_j} \sum_{t=1}^{TE_{ij}} \left(\frac{TColl_{ijt}}{N-t+1} \right) \right) \right)}{NE_i}$$

Donde:

ICI₃E_i es el índice de colaboración internacional de la entidad *i*.

NE_i es el número de instituciones extranjeras con las que colaboró la entidad *i*.

TE_{ij} es el número de años en que colaboró la entidad *i* con la institución *j*.

TColl_{ijt} es el total de colaboraciones de la entidad *i* con la institución *j* en el año *t*.

N-t+1 es la ponderación por envejecimiento considerando N = 2013.

NPE_j son los años en que hubo colaboraciones con la institución *j*.

NA_j años del periodo en que se dieron colaboraciones con la institución *j*.

Índice 4

El cuarto índice lo construimos como el promedio anual del número de instituciones por país con que colaboró cada entidad.

$$ICI_4E_i = \left(\frac{1}{NA_i} \right) \sum_{t=1}^{TA_i} \left(\frac{NE_{it}}{NP_{it}} \right)$$

Donde:

ICI₄E_i es el índice de colaboración internacional de la entidad *i*.

NA_i es el número de años en que ha colaborado la entidad *i* con instituciones extranjeras.

NE_{it} es el número de instituciones extranjeras con las que colaboró la entidad *i* en el tiempo *t*.

NP_{it} es el total de países con que colaboró la entidad *i* en el año *t*.

Para una mejor comprensión de los índices 1, 2 y 3 a continuación consideramos algunas de las colaboraciones de tres entidades del SIC de la UNAM con sus correspondientes instituciones colaboradoras extranjeras: el CCA con *AARHUS UNIVERSITY* (institución A), el CCADET con *BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES* (institución B) y con *POLISH ACADEMY OF SCIENCES* (institución C), y el CNYN con *ABO AKADEMI UNIVERSITY* (institución D) en

que las primeras colaboraciones se dieron en el año de 2009. En la tabla II ejemplificamos la diferencia de los valores obtenidos por los índices 1, 2 y 3. Al calcular el primer índice si bien los valores para las cuatro instituciones son muy cercanos, cabe señalar que en el caso de la institución A se trata de una colaboración que se dio en 2009, no así para las instituciones B y C en que hubo colaboración en cada año, y con la institución D no hubo colaboraciones en el año 2010.

En el caso de la institución D hubo colaboración en cuatro de los cinco años, es decir no hay una continuidad en la colaboración. Lo que lleva a considerar los años efectivos (cuatro) de colaboración para ponderarlas, cuestión que consideramos en la construcción del segundo índice y cuyo efecto se refleja en el valor de la institución D.

La consideración anterior no modificó los valores para las instituciones A, B y C, sin embargo existe una gran diferencia entre la institución A y las otras dos en el sentido en que se trata de una colaboración que se dio hace varios años y en los otros casos ha habido colaboraciones los últimos años. Lo anterior llevó a considerar un efecto de envejecimiento en el que las colaboraciones se ponderaron, considerando el inverso de los años transcurridos de la colaboración a partir del año de la publicación del documento en que se dio.

En la construcción del tercer índice consideramos el aspecto de los años efectivos de colaboración y el envejecimiento de la misma. El cálculo de dicho índice permite diferenciar de manera significativa los casos de colaboración que se han planteado anteriormente. En la tabla II se puede observar que el caso de la institución A es mucho menor a las otras instituciones y la institución B que presenta mayor producción y continuidad obtuvo el mayor valor.

En la construcción del índice 4 consideramos el aspecto del número de instituciones y el número de países con que cada entidad colaboró a través del tiempo. Tomando como ejemplo el CIGA, observamos que colaboró con 75 instituciones extranjeras de 24 países, lo que de manera absoluta, dividiendo el número de instituciones entre el número de países obtuvimos un valor de 3,13, es decir colaboró con 3,13 instituciones por país. Sin embargo considerando la distribución anual de instituciones extranjeras y de los países correspondientes obtuvimos un valor de 2,05 (tabla III). Este índice nos da muestra de la constancia del número de instituciones coautoras extranjeras por país de origen.

Para completar la visión que pone en relación lo local y lo global de la colaboración científica y que nos habla de la fortaleza de los lazos en ambos niveles de integración, el índice 4 nos da respuestas.

Tabla II. Índices de colaboración internacional anual por institución dónde total de colaboraciones (TCOI), número de años (NA), número de años efectivos (NPE)

Institución	2009	2010	2011	2012	2013	TCOI	NA	NPE	NPE/NA	Índice 1	Índice 2	Índice 3
A	1					1	1	1	1	1	1,00	0,2000
B	2	1	1	2	4	10	5	5	1	2	2,00	5,9830
C	1	1	1	2	2	7	5	5	1	1.4	1.40	3,7833
D	1		3	3	1	8	5	4	0,8	1,6	1,28	2,6000

Fuente: Web of Science, Thomson Reuters, Febrero 2014.

Tabla III. Índices de colaboración internacional anual por número de instituciones (NEit) y por número de países (NPit) del CIGA

t	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Índice 4
NEit	6	11	12	36	18	16	
NPit	4	5	8	16	11	5	
NEit/ NPit	1,50	2,20	1,50	2,25	1,64	3,20	2,05

Fuente: Web of Science, Thomson Reuters, Febrero 2014.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 30 entidades que conforman el SIC en el periodo 1981-2013 identificamos 42.347 documentos, de los cuales 37.335 fueron artículos. De los 37.335 artículos un total de 15.936 contó con la participación de una institución extranjera. En la tabla IV mostramos el total de artículos (TA), así como el total de artículos que fueron elaborados solo con la participación de instituciones nacionales (TAN) y el total de aquéllos en que hubo la participación de alguna institución extranjera (TAE). En promedio el 43,06% de la producción de las 30 entidades del SIC contó con la participación de alguna institución extranjera. Considerando como una colaboración cada una de las instituciones coautoras, los 15.936 artículos generaron 40.825 colaboraciones con 4.327 instituciones de 147 países. En la misma tabla IV se puede observar el total de colaboraciones de las entidades del SIC con entidades extranjeras (TCE) derivadas de los artículos con participación de alguna institución extranjera (TAE).

A continuación vamos a aplicar los cuatro índices al SIC de la UNAM y hablar de los efectos que tienen los índices en las 30 entidades del subsistema. Vamos a destacar las grandes diferencias que nos encontramos. Por último visualizamos para dos institutos, el ICN y el IFC, las redes de colaboración combinando dos niveles de analíticos: instituciones y países.

3.1. La colaboración científica internacional no es lo que aparenta a primera vista

Ya al ver los índices de manera comparativa, llaman la atención sus efectos y cuestionamos el valor interpretativo de cada uno de ellos. En la tabla V se puede observar el resultado de calcular los índices 1, 2 y 3.

Índice 1

El primer índice es un promedio y considera de forma absoluta el número de colaboraciones entre el número de instituciones. Sin embargo, observado la distribución anual de las colaboraciones, en muchos de los casos hay años en que no hubo colaboraciones con las distintas instituciones extranjeras, es decir, la colaboración no se dio de manera constante durante el periodo.

En otras palabras, el índice 1 muestra el promedio de artículos anuales de las instituciones que se generan en el ámbito de la colaboración internacional. Como podemos ver, el promedio de artículo por año en dos de las tres áreas no llega ni a 1 y en la tercera área tuvo un valor de 1,26. Destacan las siguientes dos instituciones con mayores valores: ICN con 2,58 y el IF con 2,19.

Índice 2

Una forma de medir dicha constancia es dividir el número de años en que hubo colaboraciones entre el total de años del periodo, que nos llevó al índice 2. De manera que en los casos en que se dio colaboración

Tabla IV. Total de artículos de las entidades del SIC (TA), total con participación solo de instituciones nacionales (TAN), total con participación de instituciones extranjeras (TAE), total de colaboraciones con instituciones extranjeras(TCE) derivadas de TAE

Siglas Entidad	TA	TAN	TAE	TCE	%TAE de TA
CCA	609	134	228	641	37,44%
CCADET	894	211	212	299	23,71%
CCG	675	85	290	588	42,96%
CCM	85	6	51	79	60,00%
CFATA	497	258	146	192	29,38%
CGEO	496	92	284	509	57,26%
CIECO	613	131	314	686	51,22%
CIGA	117	19	72	121	61,54%
CNyN	885	277	456	701	51,53%
CRYA	494	7	381	1.229	77,13%
IA	3.034	131	1.982	6.701	65,33%
IB	2.584	455	920	1.981	35,60%
IBT	2.304	351	939	1.391	40,76%
ICF	1.038	300	469	880	45,18%
ICMYL	1.585	401	484	1.128	30,54%
ICN	2.754	265	1.420	9.711	51,56%
IE	1.660	264	747	1.396	45,00%
IER	1.036	324	318	488	30,69%
IF	4.855	1.150	1.674	9.004	34,48%
IFC	2.572	457	599	752	23,29%
IGF	1.884	251	967	2.062	51,33%
IGG	361	56	147	219	40,72%
IGL	1.155	144	642	1.090	55,58%
II	1.250	235	345	499	27,60%
IIB	2.931	1.104	776	1.386	26,48%
IIM	2.798	773	853	1.186	30,49%
IIMAS	1.077	174	468	692	43,45%
IM	1.909	200	1.025	1.507	53,69%
INB	937	215	312	405	33,30%
IQ	3.119	695	1.075	1.456	34,47%

Fuente: Web of Science, Thomson Reuters, Febrero 2014

en cada año del periodo dicho valor será igual a 1, lo que puede interpretarse como una constancia del 100% durante dicho periodo. Lo que podemos observar es que hubo una colaboración del 84,7%, que es la medida promedio de la colaboración internacional en todo el subsistema de investigación científica. En términos generales no hay una constancia de 100%. Así el índice 2 incluye una forma de medir la constancia de las colaboraciones mediante el factor.

Es decir, el índice 2 muestra el promedio anual de artículos ya tomando en cuenta los años efec-

tivos en los que se colaboraron. Es notorio que para todas las entidades este valor es menor al del índice 1. En promedio, las colaboraciones efectivas no han sido tantas en relación con el tiempo que transcurrió desde la primera a la última. Si vemos los mismos dos ejemplos que destacamos para el índice 1, el ICN tiene un promedio de 2,37 artículos y el IF 1,98 en el índice 2. Podemos asumir que hubo más constancia en la relación de colaboración internacional para estos dos institutos en comparación con otros institutos donde los valores bajan más.

Tabla V. Índices de colaboración internacional anual por institución de las entidades del SIC

Área Físico-Matemática			Área Bio-Químico-Salud			Área Tierra-Ingenierías					
	Índice 1	Índice 2	Índice 3		Índice 1	Índice 2	Índice 3		Índice 1	Índice 2	Índice 3
CCADETz	0,96	0,90	0,44	CCG	0,92	0,86	0,38	CCA	0,97	0,88	0,57
CCM	1,17	1,17	1,08	CIECO	0,96	0,86	0,73	CGEO	0,97	0,88	0,65
CFATA	1,22	1,19	0,61	IB	0,90	0,82	0,64	CIGA	1,11	1,09	0,72
CNyN	1,11	1,04	0,71	IBT	0,87	0,78	0,40	IGF	1,01	0,92	0,65
CRYA	1,22	1,12	1,47	ICMYL	0,92	0,85	0,50	IGG	0,92	0,85	0,32
IA	1,04	0,89	1,29	IE	0,87	0,79	0,42	IGL	0,90	0,81	0,52
ICF	1,03	0,93	0,47	IFC	0,80	0,72	0,28	II	0,96	0,91	0,31
ICN	2,58	2,37	5,37	IIB	0,92	0,86	0,40				
IER	1,02	0,95	0,44	INB	0,93	0,86	0,45				
IF	2,19	1,98	4,14	IQ	1,05	0,96	0,43				
IIM	0,97	0,89	0,44								
IIMAS	0,92	0,86	0,37								
IM	0,93	0,82	0,54								
Promedio	1,26	1,16	1,34	Promedio	0,91	0,84	0,46	Promedio	0,98	0,91	0,53

Fuente: Web of Science, Thomson Reuters, Febrero 2014

Índice 3

Los porqués de una colaboración son muy variados y los lazos derivados de la forma en que se dé a través del tiempo dependerán de muchos factores. Habrá ocasiones en que sea de manera puntual, o de forma periódica o continua, por mencionar algunos casos. Si bien, en cualquiera de los casos el que los vínculos de colaboración perduren o no dependerá del interés de los participantes. No abordaremos el estudio de dicho interés, y solo consideraremos el tiempo transcurrido o envejecimiento de la colaboración en la construcción del índice 3. Así, por un lado se ponderan las colaboraciones por el inverso de los años transcurridos a partir de su publicación y hasta el año 2013, y por otro su constancia mediante el factor "años efectivos por años totales".

Así, el índice 3 muestra además de la constancia incluida en el índice 2, qué tan actual es la colaboración. Es decir un documento más reciente tiene una ponderación más alta y puede llevar a valores más altos para instituciones que tuvieron colaboraciones cerca al año 2013. El valor del índice 3 baja en aquellas instituciones que no han tenido colaboraciones muy recientemente. Observamos una mayoría de instituciones en las que baja ese valor al tercio del valor del índice 1 que solo toma en cuenta el número absoluto de colaboraciones

hechas en el total de tiempo. Una vez más destacan el ICN con 5,37 y el IF con 4,14. Además de los dos institutos antes mencionados observamos que el CRYA y el IA también tuvieron valores mayores a los del índice 2 en la cantidad de artículos por año lo que da muestra de la actualidad de los documentos publicados en coautoría internacional de dichos institutos. Cabe señalar que el CRYA se creó en 2003.

En resumen, las instituciones en cada una de las áreas del SIC de la UNAM no llegan ni a dos artículos publicados en coautoría internacional anualmente. Incluso hay áreas que no llegan ni a un artículo por año, tomando en cuenta todos los índices.

Resaltamos con los valores del índice 3 que solo en cuatro casos (ICN, IF, CRYA y IA) de las 30 entidades que analizamos muestran un valor de actualidad significativo, es decir al parecer sólo estas cuatro instituciones han colaborado a nivel internacional recientemente (cerca del año 2013).

Comparando los valores que nos indican los tres índices, concluimos que el índice 3 es una forma adecuada para medir la colaboración científica internacional. Consecuentemente dicho índice nos muestra la fortaleza de la colaboración científica internacional de una institución.

3.2. A veces menos es más

Veamos el cuarto y último índice. En la tabla VI se puede observar una diferencia notoria, por un lado al considerar de manera absoluta el número de instituciones en relación al número de países en que se ubicaron dichas instituciones, y por otro lado considerar el promedio anual de dichas cantidades. El índice 4 es el promedio anual de instituciones por país con que hubo colaboraciones.

De primera vista llama la atención la gran diferencia en el número de colaboraciones internacionales que los institutos tienen. Mientras que el IF tuvo 9.004 colaboraciones, el IA tuvo 6.701. Aquí es interesante ver que no necesariamente un alto número de colaboraciones da un índice 4 alto o más alto. Así, mientras que el IF tuvo un valor de 3,17, el IA tuvo un valor de 3,91.

Otro ejemplo es el IM con 1.507 colaboraciones, con 435 instituciones de 60 países diferentes saca un 1,98 en el índice 4, mientras el CIGA, con 121 colaboraciones que se realizaron con 71 instituciones de 24 países diferentes tiene un índice de 2,05, arriba del valor del IM. Quiere decir que el CIGA colabora con 2,05 instituciones a nivel local, mientras el IM lo hace con 1,98. Queda claro que en números absolutos el IM mostraría

una mayor integración local, pero en términos relativos el CIGA la tiene. Por lo mismo concluimos que el CIGA tiene una mayor integración a nivel local a través de las instituciones con las que colabora.

En la tabla V se puede observar que el ICN (5,37) fue la entidad con el valor más alto respecto al índice 3 y el IFC (0,28) fue la entidad con el valor más bajo. El ICN se transformó de centro a instituto en 1988 y respectivamente el IFC lo hizo en 1985. Se trata de dos institutos que se crearon con una diferencia de solo tres años pero que muestran patrones de colaboración internacional bastante diferenciados. Por una parte el ICN tuvo 9.711 colaboraciones con 781 instituciones de 71 países, mientras que el IFC tuvo 752 colaboraciones con 343 instituciones de 36 países. En la tabla VI se puede observar que de manera absoluta es cerca de punto y medio la diferencia al considerar el número de instituciones por país; sin embargo, al considerarlo de manera anual, la diferencia es de un tercio de unidad.

3.3. Diferencias por áreas temáticas

En la tabla V se nota que hay diferencias significativas al considerar el área temática de los diferentes institutos y centros. Algo que destaca es

Tabla VI. Número de instituciones (NI), número de países (NP), instituciones por país (NI/NP), índice de colaboración internacional anual por institución por país de las entidades del SIC

	Área Físico-Matemático				Área Bio-Químico-Salud				Área Tierra-Ingenierías					
	NI	NP	NI/NP	Índice 4	NI	NP	NI/NP	Índice 4	NI	NP	NI/NP	Índice 4		
CCADET	136	36	3,78	1,42	CCG	271	40	6.78	2.09	CCA	235	39	6.03	3.12
CCM	51	24	2,13	1,55	CIECO	291	48	6.06	2.83	CGEO	218	39	5.59	2.50
CFATA	75	23	3,26	1,66	IB	804	90	8.93	3.35	CIGA	75	24	3.13	2.05
CNyN	217	39	5,56	2,12	IBT	525	55	9.55	2.57	IGF	617	74	8.34	2.95
CRYA	258	35	7,37	3,60	ICMYL	511	77	6.64	1.99	IGG	121	29	4.17	1.90
IA	879	68	12,93	3,91	IE	572	62	9.23	3.26	IGL	394	55	7.16	2.89
ICF	296	49	6,04	2,58	IFC	343	36	9.53	2.62	II	244	41	5.95	1.94
ICN	781	71	11,00	2,93	IIB	675	64	10.55	2.64					
IER	194	38	5,11	2,09	INB	159	28	5.68	2.41					
IF	815	66	12,35	3,17	IQ	403	53	7.60	2.15					
IIM	387	54	7,17	2,16										
IIMAS	296	41	7,22	1,83										
IM	435	60	7,25	1,98										
	Promedio			2,38	Promedio 2,59				Promedio 2,48					

Fuente: Web of Science, Thomson Reuters, Febrero 2014

que si bien la variación entre el valor del índice 1 y 2 es de aproximadamente una décima de punto, el valor del tercer índice para el área físico-matemáticas es superior al doble de las otras áreas, es decir, de acuerdo al índice 3 los lazos de colaboración científica internacional del área físico-matemáticas son el doble de consistentes y perdurables que los de las otras dos áreas.

Si comparamos el promedio anual de instituciones por país con las que hubo colaboraciones (índice 4) en cada una de las áreas del subsistema no hay una diferencia significativa. Concluimos que el área físico-matemáticas tiene lazos más consistentes y duraderos, sin embargo las tres áreas han logrado formar comunidades locales con grados de integración muy semejantes.

3.4. Lo local y lo global de la colaboración científica internacional

El propósito de este trabajo es considerar el punto de vista local adaptando un enfoque transnacional para estudiar el panorama de la colaboración científica internacional de la UNAM. El índice 3, como ya hemos destacado, nos habla de la fortaleza de los lazos a nivel global. Ahora, para centrarnos en la perspectiva local y articular estos dos niveles, hacemos visible la dimensión de la relación entre lo local y lo global de la colaboración científica internacional a través de dos ejemplos: el ICN y el IFC. Escogimos estos dos ejemplos contrastantes ya que el ICN es el instituto que sacó el índice 3 de mayor valor y el IFC que es el que tiene el valor más bajo.

Usamos el programa Pajek para construir y visualizar la red de colaboración en coautoría a nivel instituciones y países, y aplicamos el algoritmo Kamada Kawai (De Nooy y otros, 2011) para determinar su estructura. En este sentido, la visualización mostrará por un lado el efecto del índice 3 en los dos aspectos: local y global, a nivel de la colaboración entre instituciones y por el otro el efecto del índice 3 que son las relaciones globales de las instituciones en cuestión más las comunidades locales que se encuentran englobados en esa red.

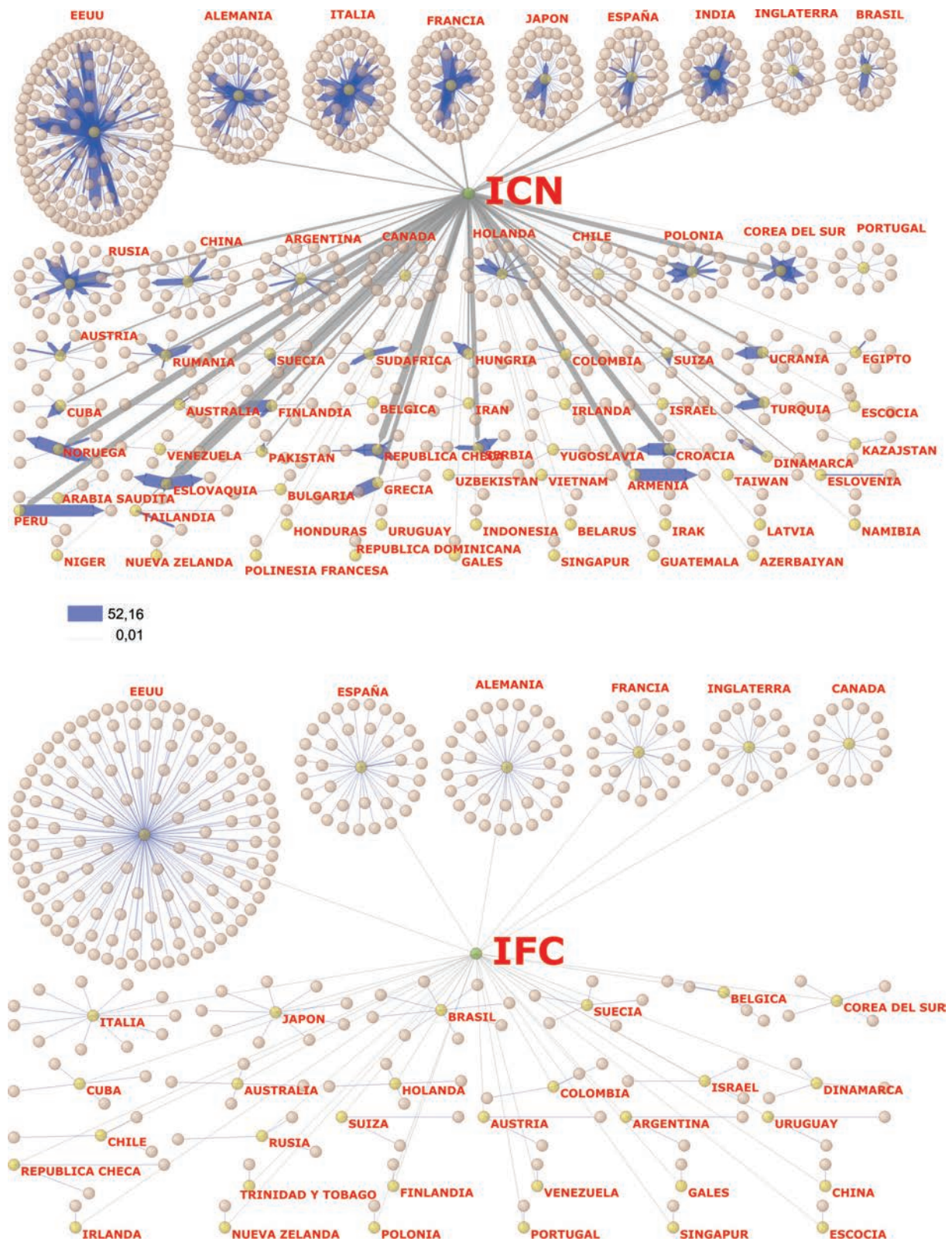
Para la visualización de los patrones procedimos por un lado, considerando el aspecto global (líneas grises), determinamos los lazos de colaboración de la entidad en cuestión (nodos verdes) y los países (nodos amarillos) de las instituciones colaboradoras extranjeras (nodos rosas), esto con base en el promedio del índice 3 (grosor de líneas) de las instituciones correspondientes a cada país. Para el aspecto local (líneas azules) determina-

mos lazos entre los países y las correspondientes instituciones colaboradoras extranjeras, también con base en el índice 3 para cada institución del SIC de la UNAM (Figura 1).

El análisis conjunto de los índices con la visualización de las relaciones entre los diferentes elementos de coautoría de los documentos nos permite hacer una mejor interpretación de la estructura de las redes de colaboración científica internacional. La figura 1 muestra para ambos institutos las comunidades locales de los países con las que colaboran, ordenado por el número de instituciones que se encuentran en cada país, empezado por el componente mayor (la subred con el mayor número de nodos) que en ambos casos se trata de Estados Unidos. Como elemento visual ocupamos el grosor de las líneas que representa el valor del índice 3. De esta manera hacemos visible que un número absoluto y alto de instituciones colaboradoras no llega a una colaboración estrecha a nivel internacional. Aunque Estados Unidos es el país con más instituciones que colaboran, no es el país con más fortaleza en el vínculo de la colaboración científica internacional. La no constancia de los vínculos en el tiempo con el gran número de instituciones de este país disminuye el valor del lazo. El IFC como ejemplo contrastante al ICN muestra patrones de colaboración muy distintos. Tanto a nivel global (que son las relaciones del IFC con los países) como a nivel local (que son las relaciones de cada país con sus instituciones locales) el instituto tiene una baja colaboración y participación. Así podemos decir que lo global se hace visible mediante los vínculos entre la entidad en cuestión y los países con los que colaboró (líneas grises). Lo local se hace visible tomando en cuenta las relaciones entre la entidad en cuestión y las instituciones de cada país (líneas azules).

Comparando los dos institutos en la figura 1 podemos decir que el ICN logra una mayor integración a nivel global, teniendo colaboraciones con un total de 71 países, y a nivel local cuenta con un alto índice 4 que nos habla de la fortaleza local. Podríamos evaluar este espacio como más consolidado bajo la lógica de los espacios transnacionales. El IFC como podemos ver en contraste, a nivel global tiene muchos menos países con los cuales ha llevado a cabo colaboraciones (36), aparte estos lazos son menos fuertes, lo que nos habla de un bajo grado de integración global. A nivel local, evaluando el índice 4, el IFC presenta un valor por arriba de la media. Respecto al espacio transnacional de colaboración podemos concluir que no cuenta con vínculos fuertes, consistentes y duraderos.

Figura 1. Vínculos de colaboración interinstitucionales por país del ICN e IFC



Elaboración: propia Febrero 2017.

Fuente: Web of Science, Thomson Reuters, Febrero 2014.

4. CONCLUSIONES

La pregunta central de este artículo era de qué manera es posible medir la colaboración científica internacional y cómo determinar la fortaleza de los lazos a nivel institucional de la colaboración. Entre nuestros mayores hallazgos queremos destacar lo siguiente:

- Elaboramos un índice (índice 3) que combina dos aspectos importantes que implica la colaboración científica internacional: la constancia o durabilidad de la relación y el envejecimiento o la actualidad de la misma.
- Otro índice complementario (índice 4) nos permitió medir el grado de integración local de las relaciones.
- El índice 1, 2 y 3 tienen valor comparativo y nos permiten hablar de la "fuerza real" de la colaboración, sin sólo centrarnos en el número absoluto de colaboraciones.
- El impacto del índice se puede visualizar.
- Pudimos demostrar que existen diferencias a nivel temático.

Nos encontramos con ciertas limitaciones: lo que el índice no toma en cuenta es el número de investigadores que tiene cada una de las instituciones, porque en teoría un instituto con mayor número de

empleados tendría un capital más alto, es decir mayores recursos, para desarrollar artículos en general y por lo mismo mayor posibilidad de establecer colaboraciones a nivel internacional. Tampoco toma en cuenta el número de autores por artículo. Aparte, para una mayor precisión de la integración local se podrían considerar los lazos de colaboración entre las instituciones de cada uno de los países.

Además, queda pendiente estudiar el contexto simbólico y de significado, cosa que un índice cuantitativo no nos puede resolver. Aquí nos quedan varias preguntas al respecto. Por ejemplo ¿qué papel juega el conocimiento de otros idiomas en la colaboración científica internacional? ¿Qué importancia tiene el idioma en la ciencia mexicana y en la UNAM? entre otras cuestiones. Esto podría determinar los perfiles de quienes colaboran en la ciencia a nivel internacional.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México por facilitarnos todos los recursos necesarios para llevar a cabo la presente investigación.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the National Autonomous University of Mexico for facilitating us all resources that were necessary to conduct this research.

6. 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: Kleiche-Dray, M.; Villavicencio, D. (coords.) *Cooperación, colaboración científica y movilidad internacional en América Latina*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: CLASO.
- Barabasi, A. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A*, 311 (3-4), 590-614. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00736-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00736-7)
- Bordons, M.; González-Albo, B.; Aparicio, J. (2015). The influence of R&D intensity of countries on impact of international collaborative research: evidence from Spain. *Scientometrics*, 102 (2), 1385-1400. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1491-4>
- CIC-UNAM, Coordinación de Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México. (2015). *La Ciencia en la UNAM 2015 a través del subsistema de la investigación científica*. Ciudad de México: Coordinación de Investigación Científica, 248 pp.
- Crane, D. (1969). Social structure in a group of scientists: a test of the invisible college hypothesis. *American sociological review*, 34 (3), 335-352. <https://doi.org/10.2307/2092499>
- Emmerich, G. E.; Pries, L. (2011). Presentación. En: Emmerich, G. E.; Pries, L. (coords.) *La Transnacionalización. Enfoques teóricos y empíricos*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Miguel Ángel Porrúa.
- De Filippo, D.; Marugán, S.; Sanz-Casado, E. (2014). Perfil de colaboración científica del sistema español de educación superior. Análisis de las publicaciones en Web of Science (2002-2011). *Revista Española de Documentación Científica*, 37 (4), 1-18. <https://doi.org/10.3989/redc.2014.4.1155>
- Glänzel, W.; Lange, C. D. (2002). A distributional approach to multinationality measures of international scientific collaboration. *Scientometrics*, 54 (1), 75-89. <https://doi.org/10.1023/A:1015684505035>
- Glänzel, W.; Schubert, A. (2004). Analysing scientific networks through co-authorship. En: Moed, H.; Glänzel, W.; Schmoch, U. (eds.) *Handbook of quantitative science and technology research*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer academic publishers.
- Jirotko, M.; Lee, C. P.; Olson, G. M. (2013). Supporting scientific collaboration: methods, tools and concepts. *Computer Supported cooperative work*, 22 (4), 667-715. <https://doi.org/10.1007/s10606-012-9184-0>

- Jung, N. (2014). *Espacios Transnacionales de Formación. Redes Empresariales y Desarrollo de Profesionistas*. Ciudad de México: Ciencia Nueva UNAM, 231 pp.
- Jung, N. (2016). Movilidad transnacional posdoctoral y la vida después de la movilidad. ¿Me regreso, me quedo, o mejor nunca me hubiera ido? En: Ramírez García, R. G.; Hamui Sutton, M. (coords.) *Perspectivas sobre la internacionalización en educación superior y ciencia*. Ciudad de México, México: CINVESTAV, IPN, RIMAC, 197 pp.
- Kaplan, K. (2016). Why you need to collaborate. Obtenido de sitio web Nature.com: <http://blogs.nature.com/naturejobs/2016/09/30/why-you-need-to-collaborate/> [consultado 25 de enero de 2017]
- Lee, S.; Bozeman, B. (2005). The impact of research collaboration on scientific productivity. *Social Studies of Science*, 35 (5), 673-702. <https://doi.org/10.1177/0306312705052359>
- Leydesdorff, L. (2008). International collaboration in science and the formation of a core group. *Journal of informetrics*, 2 (4), 317-325. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2008.07.003>
- Melin, G.; Persson, O. (1996). Studying research collaboration using co-authorships. *Scientometrics*, 36 (3), 363-377. <https://doi.org/10.1007/BF02129600>
- Narváez-Berthelemont, N. (1995). An index to measure the international collaboration of developing countries based on the participation of national institutions: The case of Latin America. *Scientometrics*, 34 (1), 37-44. <https://doi.org/10.1007/BF02019171>
- De Nooy, W.; Mrvar, A.; Batagelj, V. (2011). *Exploratory social network analysis with Pajek*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 420. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511996368>
- Pries, L. (2011). Transnacionalismo: ¿Término de moda o programa de investigación serio? Propuesta de investigación para estudiar las organizaciones transnacionales como vínculo micro-macro. En Emmerich, G. E.; Pries, L. (coords.), *La Transnacionalización. Enfoques teóricos y empíricos*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Miguel Ángel Porrúa.
- Rainie, L.; Wellman, B. (2012). *Networked. The new social operating system*. Cambridge: MIT Press, 358 pp.
- Ruiz Baños, R.; Bailón-Moreno, R. (1997). Métodos para medir experimentalmente el envejecimiento de la literatura científica. *Boletín de la Asociación Andaluza de Bibliotecarios*, 46, 57-75.
- Ruiz Baños, R.; Jiménez-Contreras, E. (1996). Envejecimiento de la Literatura Científica en Documentación. Influencia del Origen Nacional de las Revistas. Estudio de una Muestra. *Revista Española de Documentación Científica*, 19 (1), 39-49. <https://doi.org/10.3989/redc.1996.v19.i1.631>
- Ruiz León, A. A.; Russell, J. (2016). La estructura del sistema científico de México a finales del siglo XX: una visión a nivel de instituciones. *Redes - Revista hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 27 (2), 11-32. <https://doi.org/10.5565/rev/redes.626>
- Russell, J. M.; Madera Jaramillo, M. J.; Ainsworth, S. (2009). El análisis de redes en el estudio de la colaboración científica. *Redes- Revista hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 17 (2), 39-47.
- Tomassini, M.; Leslie, L. (2007). Empirical analysis of the evolution of a scientific collaboration network. *Physica A*, 385 (2), 750-764. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.07.028>
- Vélez-Cuarta, G.; Lucio-Arias, D.; Leydesdorff, L. (2016). Ciencia Regional y Global: Publicaciones de América Latina y el Caribe en SciELO Citation Index y el Web of Science. *El profesional de la información*, 25 (1), 35-46. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.ene.05>
- Vélez-Cuarta, G.; Gómez-Florez, H.; Úsuga-Ciro, A.; Velez-Trujillo, M. (2014). Diversidad y reconocimiento de la producción académica en los sistemas de evaluación de la investigación en Colombia. *Revista Española de Documentación Científica*, 37 (3), e056. <https://doi.org/10.3989/redc.2014.3.1133>
- Villavicencio, D.; Kleiche-Dray, M. (2014). ¿Por qué analizar las colaboraciones científicas en el plano internacional? En Kleiche-Dray, M.; Villavicencio, D. (coords.) *Cooperación, colaboración científica y movilidad internacional en América Latina*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: CLASO.
- Wenger, E. (2001). *Comunidades de práctica. Aprendizaje, Significado e Identidad*. Barcelona: Paidós, 352 pp.