

Luis Humberto Fabila-Castillo
Academia Mexicana de Ciencias., México lhfc5203@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0568-9092>

Ruy Fabila-Monroy
Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN ruyfabila@math.cinvestav.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2517-0298>

Recepción: 04 Octubre 2022

Aprobación: 12 Mayo 2023

RESUMEN

El objetivo fue analizar la producción de publicaciones científicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en el período 1999-2019. Se utilizó como método el análisis bibliométrico de 24,329 publicaciones obtenidas de la base de datos Scopus y, aplicando la Teoría de Redes, se analizaron las redes de colaboración intrainstitucional. Como resultados, se encontró un crecimiento constante de las publicaciones y se identificaron las áreas del conocimiento y las unidades académicas (UAs) más productivas, así como a las que mostraron un mayor crecimiento. Las publicaciones son en su mayoría en revistas clasificadas en los cuartiles 1 y 2. Durante el período del estudio, las redes de colaboración crecieron en forma muy importante. El 24.4% de las publicaciones fueron producto de colaboraciones entre las diferentes UAs. Los valores eigenvector de las UAs sugieren que, a mayor productividad y número de investigadores nacionales, mayor intermediación. Su originalidad radica en que no se habían realizado estudios de este tipo sobre el IPN, aunque tiene la limitante de que no se incluyen en el estudio publicaciones no registradas en Scopus tales como la WOS.

Palabras clave: Producción científica, Instituto Politécnico Nacional, Análisis bibliométrico, Colaboración científica intrainstitucional, Teoría de Redes.

ABSTRACT

The objective was to analyze the National Polytechnic Institute's (IPN) scientific publication output during the 1999-2019 period. The method employed was a bibliometric analysis of 24,329 publications retrieved from the Scopus database and the intra-institutional collaboration networks were analyzed applying the Network Theory. The results showed a constant growth in publications and the most productive knowledge areas and academic units (AUs) and those with the highest increases were identified. Most publications were in journals published by countries with high scientific development. The collaboration networks grew very significantly during the study period. 24.4% of the publications were the product of collaborations between different AUs. The originality lies in that there were not studies of this kind for the IPN. Although a limitation is that publications not registered in Scopus were not included in the study.

Keywords: Scientific production, National Polytechnic Institute, Bibliometric analysis, Intra-institutional collaboration, Network Theory.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) es una institución del Estado creada en 1936 con la finalidad de impartir enseñanza tecnológica principalmente a las clases populares más necesitadas del país. Uno de sus pilares ideológicos es que la educación tecnológica de calidad es un factor fundamental de cambio y de justicia social además de que contribuye al desarrollo nacional. Al paso del tiempo, el IPN se ha convertido en un referente nacional de la educación y la investigación tecnológica (Valencia, 2021).

Desde la fundación del IPN, la sociedad, la ciencia y la tecnología han experimentado enormes y acelerados cambios, en particular en las últimas décadas. En este entorno, las instituciones de educación superior (IES) juegan un papel fundamental en la formación de recursos humanos que coadyuven al mejoramiento de la competitividad del país. La implementación de nuevas políticas educativas es un reto para que las IES mantengan, o aún mejor, eleven su calidad educativa, se inserten en la sociedad del conocimiento, formen profesionales competitivos a nivel mundial y desarrollen sistemas educativos de vanguardia (Ortiz, 2017). Idealmente las IES deben generar conocimiento nuevo mediante la investigación científica y tecnológica, actividad que debe incorporarse al proceso de formación de sus estudiantes, lo cual es un reto para las IES latinoamericanas (Aldana-Zavala et al., 2021; Romero Fernández et al., 2021).

La enseñanza a nivel posgrado implica, por sus características, una gran vinculación con la investigación. Por lo tanto, es en este nivel en donde la integración de alumnos a proyectos de investigación se da de forma más intensa y natural. En las últimas décadas, el IPN ha incrementado de forma muy importante su oferta de posgrados y particularmente de sus posgrados con calidad, reconocidos por el CONACyT. En 2001 el Instituto ofrecía 110 programas, de los cuales 25 (el 22%), estaban registrados en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACyT (14 maestrías y 11 doctorados, (Fabila et al., 2004). En 2022 el Instituto ofrece 135 programas de posgrado, de los cuales 99 (el 73%), están registrados en el PNPC (7 especialidades, 59 maestrías y 33 doctorados) (Instituto Politécnico Nacional [IPN], 2022a). Por otra parte, el modelo de investigación en el IPN considera también la participación de estudiantes de licenciatura y de nivel medio superior en los proyectos de investigación como un complemento a su formación (Fabila et al., 2004).

La intensidad y calidad de la investigación científica que se realiza en el IPN ha sido una de las bases fundamentales para lograr el incremento tan notable en la oferta de posgrados de calidad, además esta productividad científica del IPN ha sido reconocida internacionalmente. SCImago es una empresa consultora española que tuvo sus orígenes en la Universidad de Granada y que se especializa en cienciometría, principalmente. El ranking iberoamericano de instituciones de educación superior es un proyecto del grupo de investigación de SCImago que clasifica a las IES de acuerdo con el número de artículos publicados en revistas indexadas y otros parámetros como la innovación y el impacto social. En el año 2021, este ranking clasifica al IPN como la segunda IES a nivel nacional, solo por debajo de la UNAM y en lugar 16 de las IES latinoamericanas (De-Moya-Anegón et al., 2021).

Este logro ha sido el resultado de una serie de acciones y programas que han implementado las diferentes administraciones del Instituto para impulsar las actividades de investigación y de formación de recursos humanos de alta calidad. Estas acciones se intensificaron a inicios de los noventa y las diferentes autoridades del IPN las han mantenido hasta la fecha. Algunas de las acciones recientes más sobresalientes se pueden consultar en el informe anual de actividades 2021 del director general del IPN (IPN, 2022b).

Los estudios bibliométricos analizan la producción científica de una institución o país y permiten establecer el volumen de sus publicaciones, el tipo de revistas donde se publica, los temas, quienes están publicando y otros datos estadísticos descriptivos. La utilización para estos estudios de la base de datos de publicaciones científicas de Scopus tiene la ventaja de que, además de cubrir a las revistas publicadas por países desarrollados, cubre una gran cantidad de revistas científicas publicadas por países en desarrollo, tales como revistas publicadas por países latinoamericanos. Esto la hace muy apropiada para estudios bibliométricos de estos países o de sus instituciones, ya que además de cubrir la productividad en revistas internacionales de impacto, se cubre la de revistas de su ámbito regional, la cual pudiera representar una proporción significativa de la productividad de la institución por analizar (Arencibia-Jorge y Moya-Anegón, 2010).

Otro aspecto relevante que se puede analizar en los estudios bibliométricos es la colaboración científica. Existe una abundante bibliografía que muestra el efecto positivo que tiene la colaboración entre grupos de investigación. Las investigaciones realizadas por más de un grupo de investigación tienden a ser más productivas en cuanto a publicación de artículos (Lee y Bozeman, 2005). Además, estas publicaciones tienden a tener un mayor impacto, medido por el número de citas que reciben (Leydesdorff et al. 2019; Figg, 2006; Adams et al., 2003). Mendoza-Chuctaya (2021), estudió las redes científicas de colaboración peruanas y encontró que los artículos en colaboración internacional tuvieron mayor números de citas. Corrales-Reyes (2017), realizó un estudio sobre colaboraciones entre grupos científicos chilenos, concluyendo que los artículos resultantes de la colaboración entre grupos nacionales incrementan en 1.5 veces el número de citas, en relación con los artículos sin colaboración. Por otra parte, la Teoría de Redes permite hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de las relaciones que hay entre los miembros de una red, como es el caso de una red de colaboración científica. El análisis cualitativo nos permite identificar a los miembros de una red que están colaborando entre sí y el análisis cuantitativo nos permite identificar que tan conectada está la red, cuáles miembros de la red tienen mayor influencia y permite la identificación de comunidades de colaboración, entre otras características (Donthu, et al., 2021; Guerrero-Sosa et al., 2020).

Existe un estudio bibliométrico reciente sobre la productividad científica general de México (Lancho-Barrantes y Cantú-Ortíz, 2019), pero pocos que analizan la productividad científica de IES mexicanas. Luna Morales et al. (2018), realizaron un trabajo sobre la producción científica de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Caballero Rico et al. (2012), hicieron un análisis de la producción científica de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Gil Mendieta y Ruiz León (2009), analizaron las publicaciones de investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México. En dos de estos artículos se hacen además análisis de redes de colaboración (Luna Morales et al., 2018; Gil Mendieta y Ruiz León, 2009). Otros autores han publicado estudios de redes científicas de colaboración (Cárdenas-Tapia, 2021; Cárdenas et al., 2016; Cárdenas et al., 2015). Por último, Guerrero-Sosa et al. (2020), analizan la colaboración intrainstitucional en la UADY.

A pesar del reconocimiento nacional e internacional que tiene la producción científica del IPN, no se ha realizado un estudio sobre cómo se ha dado el desarrollo de esta productividad científica en el Instituto. El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un análisis bibliométrico de la productividad científica y de la colaboración intrainstitucional del IPN durante el período 1999-2019, planteándose las siguientes preguntas de investigación: 1. ¿Cuál ha sido la productividad anual de todo el Instituto y de sus áreas de conocimiento?, 2. ¿En qué revistas publica el IPN?, 3. ¿Cuál es la productividad de las diferentes unidades académicas?, 4. ¿Cómo ha crecido la productividad por área del conocimiento y por unidad académica? 5. ¿Cómo ha evolucionado la colaboración intrainstitucional en el tiempo? 6. ¿Qué características básicas tiene la red de colaboración intrainstitucional?

Esta información es de utilidad para las autoridades del IPN pues permite tener una idea, tanto general como a nivel de unidades académicas, del efecto e impacto que han tenido el conjunto de medidas que se han implementado para impulsar la investigación en el Instituto. Por otra parte, es también de interés para los académicos y la comunidad politécnica en general, ya que le permite estar informada sobre cuál ha sido la evolución y cuál es el estado actual de la investigación en la institución.

MÉTODO

Búsqueda de publicaciones: Los registros de cada publicación se obtuvieron de la base de datos de Scopus entre los meses de octubre de 2020 y febrero de 2021. Para las búsquedas se usó el operador booleano “or” con las frases “Instituto Politecnico Nacional” or “Instituto Politécnico Nacional” or “National Polytechnic” or “IPN” or “I.P.N.” para todos los campos (“All fields”). Para el campo país de afiliación (“Affiliation country”) se usó “Mexico”, para el tipo de documento (“Document type”) se seleccionó todos (“All”). Se hicieron búsquedas para cada año (1999-2019) y la información se consolidó en un solo archivo de Excel eliminando registros duplicados, recopilándose 24,329 registros. Para analizar el número de publicaciones por año, se calculó la tasa de crecimiento para cada año con la fórmula: $(\text{valor final} - \text{valor inicial}) / \text{valor inicial} \times 100$. La tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) se calculó promediando las tasas de crecimiento de cada año del período analizado.

Clasificación de las revistas científicas: Para los artículos en revistas científicas, se obtuvo del portal de SCImago Country & Journal Rank (SJR) (SCImago, s.f.), el país donde se publica la revista y la información del cuartil (Q) en el que se clasifica. Esta clasificación puede variar en diferentes años. Para cada artículo, se registró el cuartil correspondiente al año de su publicación. El idioma en el que fue publicado el artículo se extrajo de la información obtenida de Scopus.

Identificación de las Unidades Académicas: La forma de nombrar las unidades académicas (UAs) del IPN a las que pertenecen los autores es sumamente variada. Para identificar en cada registro la unidad académica (UA), se identificaron las diferentes formas en las que comúnmente se escriben. Con base en esto se hizo una expresión regular para cada UA. Se escribió un script en Python usando estas expresiones regulares para identificar a o las UAs en el campo afiliaciones (“Affiliations”) para cada registro. Cuando no se pudo identificar la UA de esta forma, la UA se asignó con la información del registro o buscando información en Google sobre los autores. Cien registros no fueron tomados en cuenta para el estudio porque no se pudo identificar la UA. El archivo consolidado de datos contenía registros de publicaciones del CINVESTAV en donde no participaron investigadores del IPN. Estas se identificaron manualmente y se eliminaron. Finalmente, se obtuvieron 23,631 registros de publicaciones en donde había al menos un autor con adscripción a una UA del IPN. Las UAs se identifican con las siglas comunes que se utilizan en el IPN y su nombre completo se indica en el apéndice que se encuentra al final de este trabajo.

Áreas del conocimiento: El IPN está organizado académicamente en tres grandes áreas del conocimiento. La principal, por su tamaño en cuanto número de UAs, alumnos y profesores es la de ingeniería y ciencias fisicomatemáticas (ICFM), la cual incluye a todas las escuelas de ingenierías y los centros de investigación tecnológica. La segunda área es la de ciencias médico-biológicas que incluye las escuelas relacionadas con medicina o biología. Para el análisis que se realizó, se incluyeron en esta área a la escuela de biotecnología y a los centros de investigación que realizan proyectos relacionados con la biotecnología y las ciencias biológicas (CIIDIRes y CIBA, ver apéndice). Esta área es identificada en este estudio como de ciencias médico-biológicas y biotecnología (CMBB). La tercera área de conocimiento es la de ciencias sociales y administrativas (CSA) la cual incluye a las escuelas de administración, economía y turismo, así como al centro de investigaciones económicas y

administrativas. Por último, se consideró un área del conocimiento interdisciplinaria donde se incluyen unidades académicas interdisciplinarias (UID) que combinan las ingenierías con las CSA o con las CMBB. Se incluye un apéndice en donde se enlistan las UAs que se incluyeron en cada área del conocimiento, así como la abreviación con la cual se designarán en el resto del estudio.

Asignación de publicaciones a las Unidades Académicas: Cada publicación en donde se haya identificado al menos un autor de una UA en particular se asignó a dicha UA. Cuando se identificó en una publicación a autores de más de una UA, la publicación se asignó a cada una de las UAs identificadas.

Análisis de las redes de colaboración intrainstitucional: Se escribió un script en Python que identificó las publicaciones en donde participaron más de una UA. Éstas se consideraron publicaciones en colaboración. Para cada par de UAs se identificó el número de publicaciones conjuntas. En el caso de publicaciones donde participaron más de dos UAs, se consideró una publicación conjunta entre cada par posible de UAs participantes. El análisis de las colaboraciones se hizo aplicando la Teoría de Redes. Cada UA fue considerada un nodo de la red y se generó una matriz de UAs y de publicaciones en colaboración entre las diferentes UAs. Esta información se procesó y graficó mediante el programa Gephi para análisis de redes (<https://gephi.org/users/publications/>). El programa genera una red gráfica en donde los nodos son representados por círculos y los nodos (UAs) que colaboran entre sí están enlazados por líneas (aristas). Gephi calcula además varios parámetros estadísticos que permiten caracterizar a la red tanto en su conjunto como a nivel de los nodos individuales. Para los propósitos de este estudio utilizamos los siguientes parámetros:

- a) **Grado:** es el número de enlaces que tiene un nodo (UA) con otros nodos de la red. Indica con cuantas UAs diferentes tiene publicaciones en colaboración una UA dada.
- b) **Grado con peso:** a cada enlace se le asigna un valor de acuerdo, para este numero de estudio, al publicaciones en colaboración entre dos UAs enlazadas.
- c) **Grado medio de la red:** es el promedio de enlaces que tienen todos los nodos de la red. Indica con cuantas UAs diferentes tiene cada UA, en promedio, publicaciones en colaboración.
- d) **Grado medio con pesos de la red:** es el promedio de las publicaciones en colaboración que representa cada enlace entre dos nodos de la red.
- e) **Densidad de la red:** es el cociente que hay entre los enlaces existentes y los enlaces posibles entre los nodos de la red.
- f) **Eigenvector:** es mayor para nodos que están enlazados a otros nodos con alto grado de enlazamiento. Un valor alto es un reflejo de la importancia del nodo en la red.
- g) **Grado de intermediación:** es el número de veces que un nodo está en la ruta más corta entre distintos pares de nodos, se puede normalizar dividiendo entre el número de nodos de la componente conexa, menos 1. De esta forma toma valores entre 0 y 1, lo que permite hacer comparaciones entre diferentes redes.
- h) **Modularidad:** es un parámetro que se utiliza para identificar comunidades dentro de la red, esto es, conjuntos de nodos que se encuentran agrupados.

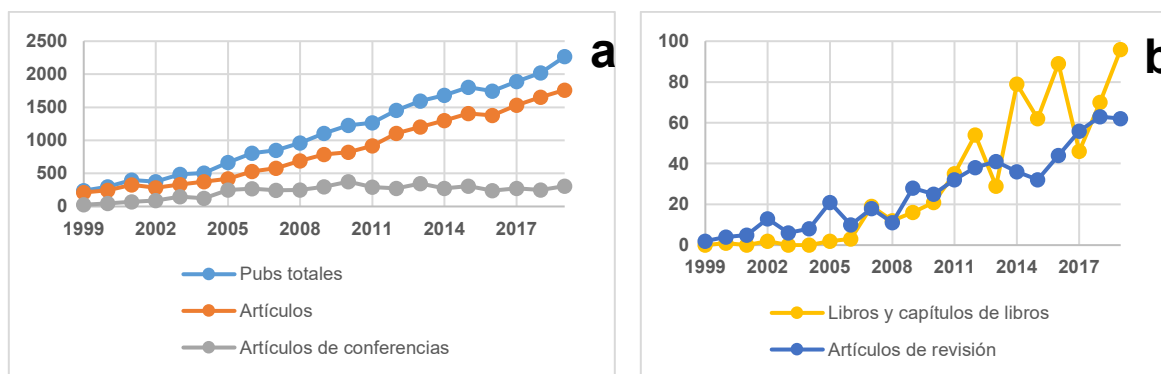
El programa permite identificar comunidades, es decir UAs que se puede considerar que conforman una comunidad de colaboración. Para esto se utilizó la herramienta de modularidad ajustada a un valor de 0.8.

RESULTADOS

Productividad anual del IPN: Scopus clasifica los documentos que tiene registrados en varias categorías. El 98.5% de los documentos recuperados para el IPN estuvieron en las categorías: artículo (Article), que son artículos publicados en revistas científicas, artículo de conferencia (Conference Paper), libro (Book), capítulo de libro (Book Chapter) y artículo de revisión (Review), también en revistas científicas. El 1.5% restante fueron de otras categorías tales como editoriales (Editorials), fé de erratas (Erratum), notas (Notes), y otros. Se analizaron los documentos publicados anualmente por todas las UAs del IPN durante el período de estudio. En la Figura 1a, se muestra que desde el inicio del estudio ha habido un crecimiento constante de las publicaciones totales, con una tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) del 12.4%. El crecimiento es debido principalmente a los artículos. Los artículos de conferencias crecieron en los primeros siete años y después, aunque con algunas variaciones, tendieron a estabilizarse. Los libros y capítulos de libro y los artículos de revisión participan en una proporción menor a las categorías mencionadas anteriormente. Sin embargo, mostraron un crecimiento vigoroso (Figura 1b). Los artículos de revisión crecieron con una TCPA del 33.3% y los libros y capítulos de libro crecieron con una TCPA del 28.1%.

Figura 1

Número de publicaciones del IPN por año



Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011

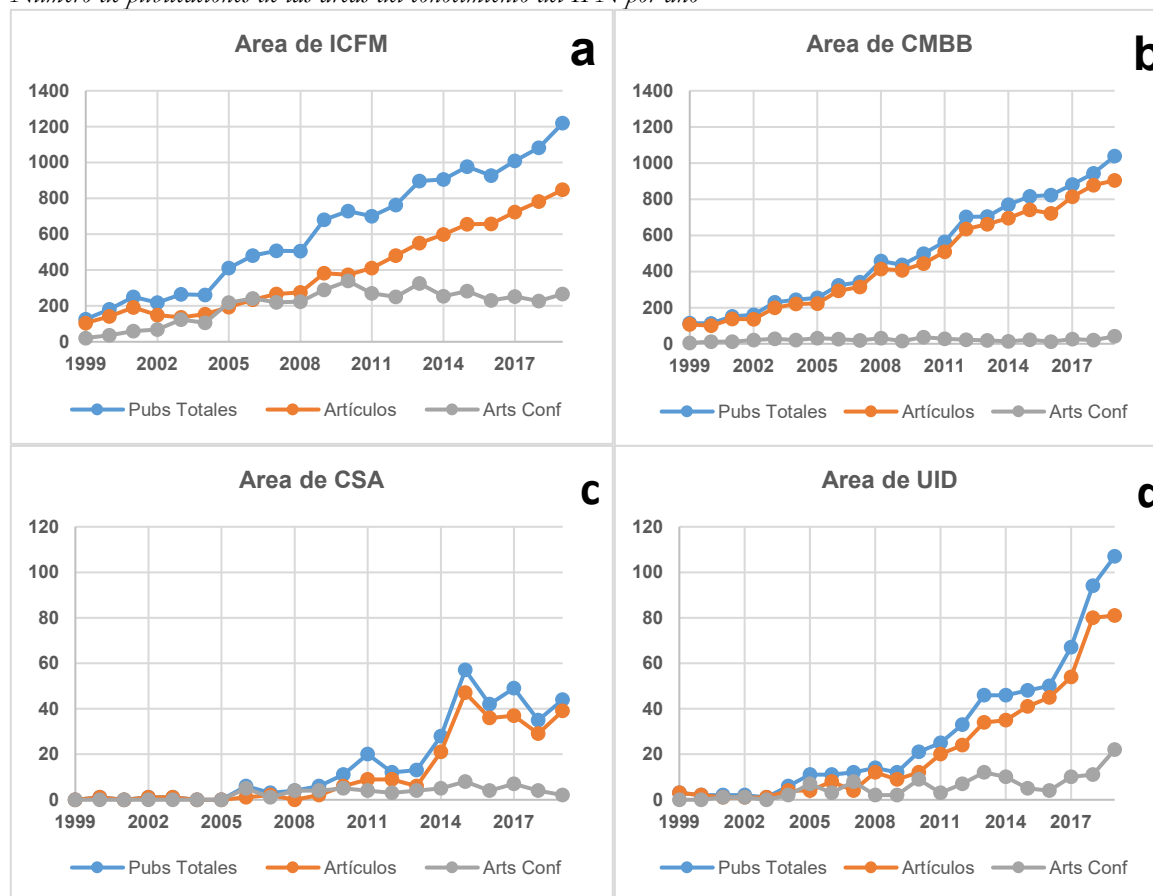
En cuanto a la productividad de las cuatro áreas del conocimiento, en la Figura 2 se muestra que ICFM y CMBB, (paneles a y b), tienen un crecimiento constante y similar en publicaciones desde el inicio del estudio. La TCPA para ICFM fue del 13.3% y la de CMBB del 12.5%. Estas dos áreas son las que contribuyeron en mayor cantidad a las publicaciones de todo el IPN. El área de ICFM contribuyó con el 53.2% y el área de CMBB con el 42.9%. Se observa una diferencia entre las dos áreas en cuanto a que la productividad de ICFM está dada tanto por artículos en revistas como por artículos de conferencias, mientras que la de CMBB está dada principalmente por artículos en revistas, con una participación mínima de artículos de conferencias. Un artículo de conferencia es generalmente un artículo más corto y condensado que un artículo de revista. Estos trabajos son presentados en conferencias o reuniones académicas. Estos artículos son publicados como “proceedings” o “transactions” y el nombre de la reunión académica y son un medio de comunicación científica que se utiliza frecuentemente en varias áreas de las ingenierías. La aceptación de un artículo en estas reuniones académicas está sujeta a revisión por pares académicos y, a decir de los expertos, hay reuniones donde los criterios de aceptación son tan

estrictos o más que los criterios de aceptación de las revistas científicas más exigentes (Dr. Humberto Sossa Azuela del CIC, comunicación personal).

Las áreas de CSA y las UID contribuyeron con solo el 3.9% de la productividad total del IPN. En la figura 2, paneles c y d se observa que en los primeros diez años del estudio su productividad fue muy baja e incluso nula. Sin embargo, para CSA la productividad comenzó a incrementarse a partir del año 2010 y llegó a un máximo en 2015. A partir de esta fecha comenzó a declinar un poco, aunque se mantuvo en alrededor de 40 publicaciones por año. Es importante comentar que una proporción significativa de la productividad del área de CSA se da en libros publicados por editoriales que no son registradas por Scopus, por lo que lo mostrado en la Figura 2c no refleja toda la productividad académica de esta área. En el caso de las UID, se observa un ligero incremento en sus publicaciones a partir del año 2004, manteniéndose en alrededor de 15 publicaciones anuales hasta 2009. A partir de esta fecha comenzó un incremento vigoroso que continuó hasta el final del estudio.

Figura 2

Número de publicaciones de las áreas del conocimiento del IPN por año



Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011

Revistas donde publica el IPN: Para este análisis se consideraron solo las publicaciones de artículos y de artículos de revisión, que son 17,583 artículos, el 73% de la productividad del IPN. Estos artículos se encuentran en 3,717 diferentes revistas científicas editadas por 67 países diferentes. En la Tabla 1 se muestran los diez países que editan las revistas en donde el IPN publica la mayor cantidad de artículos. Estos diez países comprenden el 85.8% de los artículos publicados y el 79.4% de las revistas en las que publica el IPN. Un número considerable de las publicaciones del IPN, se encuentran en revistas científicas de cuatro países que en 2016 estuvieron dentro de los cinco países con la productividad más alta en artículos científicos a nivel mundial (Estados Unidos, Reino Unido, Holanda y Alemania) (OECD, 2016).

Tabla 1

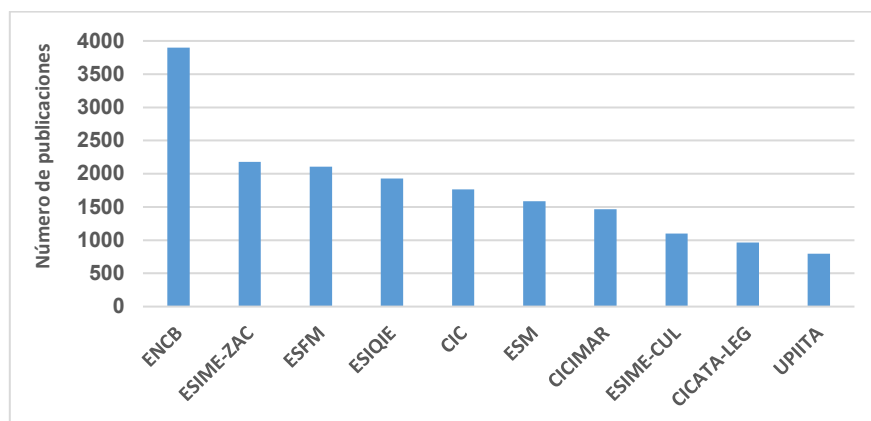
Los diez países donde el IPN publicó más artículos en sus revistas científicas

Lugar	País	Numero de artículos	Número de revistas	porcentaje del total
1	Estados Unidos	4,636	924	25.9%
2	Reino Unido	3,422	840	19.2%
3	Holanda	2,881	503	16.1%
4	México	1,662	91	9.3%
5	Alemania	1,040	234	5.8%
6	Suiza	676	134	3.8%
7	Chile	333	20	1.9%
8	España	296	90	1.6%
9	Brasil	195	51	1.1%
10	India	184	66	1.0%
Total:		15,325	2,953	85.8%

Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011

Por otra parte, el 33.5% de los artículos están publicados en revistas pertenecientes al primer cuartil (Q1), y el 32.4% en revistas del segundo cuartil (Q2). Esto es, que el 66% de los artículos publicados por el IPN en el período del estudio están en revistas clasificadas en el 50% más alto de calidad e impacto. El resto está en revistas Q3 o Q4. El 85% se publicó en inglés, el cual se ha convertido en el idioma internacional de la ciencia, el 14% en español, que juega un papel importante en la comunicación de la ciencia entre los países Latinoamericanos y el 0.6% en otros idiomas (francés, portugués y catalán, principalmente).

Productividad de las diferentes unidades académicas: La identificación de las UAs con la mayor productividad permite dar una idea de cómo se distribuyen las actividades de investigación en el Instituto. Para esto, se identificaron a las 10 UAs del IPN con la mayor productividad, las cuales se muestran en la Figura 3. La ENCB es la UA con la productividad más alta, alcanzando casi 4,000 publicaciones en el período de este estudio estudio. Por razones históricas, que no se abordarán en este trabajo, la ENCB ha sido la UA del IPN con mayor actividad de investigación desde que pasó a formar parte del Instituto en 1938, lo cual explica su alta productividad. Después de la ENCB, hay cuatro UAs con una productividad de alrededor de 2,000 publicaciones (ESIME-ZAC, ESFM, ESQIE y CIC). Las siguientes cinco UAs tuvieron entre 800 y 1,600 publicaciones (ESM, CICIMAR, ESIME-CUL, CICATA-LEG y UPIITA).

Figura 3*Las diez unidades académicas con la más alta productividad*

Fuente: Elaboración propia

Crecimiento de la productividad por UA: Se tomaron las publicaciones de los primeros cinco años del estudio (1999-2003) y se compararon con las publicaciones de los últimos cinco años (2015-2019). Se analizaron dos grupos de UAs, en primer lugar, a las que tuvieron publicaciones desde el inicio del estudio. En la Tabla 2 se muestran las diez UAs que mostraron los mayores crecimientos. Destacan la ESIME-TIC que incrementó sus publicaciones en 43 veces y la ESIA-ZAC que lo hizo en 20 veces. Desde luego que hay que considerar que éstos altos incrementos son también el reflejo de un número muy bajo de artículos en los primeros cinco años. Las siguientes tres UAs, que tienen crecimientos de 12 veces, así como las dos primeras, son UAs que no aparecen dentro de las UAs más productivas de la Figura 3. Las últimas cinco UAs, presentaron incrementos en sus publicaciones de entre 5.1 y 8.8 veces y en este grupo hay tres que están entre las diez UAs más productivas.

Tabla 2*Crecimiento de publicaciones en unidades académicas que tienen publicaciones desde el inicio del estudio (1999)*

Unidad Académica	Publicaciones primeros cinco años ¹	Publicaciones últimos cinco años ²	Crecimiento ³	Publicaciones totales (1999-2019)
ESIME-TIC	3	130	43.3	243
ESIA-ZAC	2	39	19.5	90
UPICSA	6	76	12.7	166
CIIDIR-DGO	18	216	12.0	456
CITEDI	23	277	12.0	629
ESIME-ZAC	104	913	8.8	2181
CICATA-QRO	31	274	8.8	556
ESM	103	701	6.8	1584
UPIBI	48	313	6.5	744
CIC	139	703	5.1	1766

1. Se calcularon las publicaciones de los años 1999 al 2003
2. Se calcularon las publicaciones de los años 2015 al 2019
3. El crecimiento es el cociente de las publicaciones de los últimos y los primeros cinco años

Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011

Algunas UAs comenzaron a publicar artículos en años posteriores al inicio de este estudio (1999). Para estas UAs los primeros cinco años que se consideraron para calcular el crecimiento de sus publicaciones fueron a partir del año en que apareció su primera publicación. En la Tabla 3 se muestran las diez UAs que mostraron los mayores incrementos. En primer lugar, está la ESE, la cual publicó su primer artículo en el año 2000 y no publicó en los siguientes cuatro años, sin embargo, publicó 92 artículos en los últimos cinco años del estudio. De las diez UAs mostradas en la Tabla 3, solo UPIITA, que incrementó en 21 veces sus publicaciones, aparece entre las 10 UA con mayor productividad del IPN (Figura 3), el resto son UAs que pudiéramos considerar que están en vías de incorporarse al grupo de UAs con productividad más consolidada.

Tabla 3

Crecimiento de publicaciones en unidades académicas que iniciaron sus publicaciones después de 1999, año del inicio del estudio

Unidad Académica	Año de la primera publicación	Publicaciones primeros cinco años ¹	Publicaciones últimos cinco años ²	Crecimiento ³	Publicaciones totales (1999-2019)
ESE	2000	1	92	92	138
CIDETEC	2005	8	259	32.4	334
CIEMAD	2000	7	160	22.9	273
CMP+L	2005	3	66	22	72
UPIITA	2001	19	401	21.1	796
ESCOM	2001	16	277	17.3	549
CICS-UST	2000	1	16	16	26
CIIDIR-MICH	2002	5	71	14.2	130
CIIDIR-SIN	2002	16	220	13.8	378
ESCA	2002	4	45	11.3	69

1. Se calcularon las publicaciones de cinco años a partir de la primera publicación
2. Se calcularon las publicaciones de los años 2015 al 2019
3. El crecimiento es el cociente de las publicaciones de los últimos y los primeros cinco años

Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011

Redes de colaboración intrainstitucional: Se identificaron y analizaron las colaboraciones entre grupos de investigación del IPN pertenecientes a UAs diferentes. Para esto, identificaron las publicaciones de todo tipo en donde hubiera autores de más de una UA del IPN. Estas publicaciones se consideraron como resultado de una colaboración entre éstas UAs. El programa Gephi identifica los nodos que colaboran más intensamente entre sí y los agrupa en comunidades de colaboración.

Evolución de la colaboración intrainstitucional: Se analizaron las redes de colaboración de los primeros cinco años de este estudio (1999-2003), cinco años intermedios (2007-2011) y los últimos cinco años (2015-2019). En los primeros cinco años (1999-2003), el total de las UAs del IPN produjeron 1,799 publicaciones, de las cuales 108 (6%) fueron colaboraciones entre UAs diferentes. En la Figura 4a se muestra la red de colaboración en este período. Se detectan cinco comunidades de colaboración, identificadas por color, las cuales están conformadas por relativamente pocos nodos. La red más pequeña tiene dos nodos y la más grande siete. Como es de esperarse, las comunidades se conforman principalmente entre UAs de la misma área del conocimiento. Tres comunidades están conformadas principalmente por UAs de ICFM (en color morado, azul y rojo) y dos comunidades por UAs de CMBB (en color verde y naranja). Hay 17 nodos no conectados. Esto es, nodos que no tienen publicaciones en colaboración, ya sea porque no tuvieron publicaciones en el período, o porque publicaron sin colaborar con otras UAs. En los cinco años intermedios (2007-2011), se produjeron un total de 5,412 publicaciones, de las cuales 721 (13%) fueron colaboraciones entre UAs diferentes. En este período se triplicaron las publicaciones totales en relación con el período anterior y aumentó la proporción de publicaciones en colaboración a más del doble. En la figura 4b se muestra la red de colaboración de este período. Se detectan nuevamente cinco comunidades de colaboración. La mayoría de ellas crecieron notablemente y se modificó un poco la composición de los nodos. La comunidad más pequeña, al igual que en el período anterior, tiene dos nodos (color naranja), aunque ahora corresponden a otras UAs. La comunidad de colaboración más grande tiene ahora 18 nodos (color morado) y está conformada por UAs del área de CMBB. En este período es muy notable la disminución de nodos no conectados, pasando de 17 en el período anterior a solo cinco en este período. En los últimos cinco años del estudio (2015-2019), se produjeron un total de 9,170 publicaciones, de las cuales 2,372 (26%), poco más de la cuarta parte, fueron colaboraciones entre diferentes UAs del IPN. En la Figura 5a, se muestra la red de colaboración en este período. Se siguen detectando cinco comunidades de colaboración y es notoria la consolidación de estas. Es muy notorio el crecimiento en tamaño y complejidad de las redes, las cuales han tendido a homogenizarse en tamaño, con algunos reacomodos en la distribución de UAs entre las redes. La comunidad más pequeña tiene ahora cinco nodos y la más grande 14. Ahora se detecta un solo nodo no conectado.

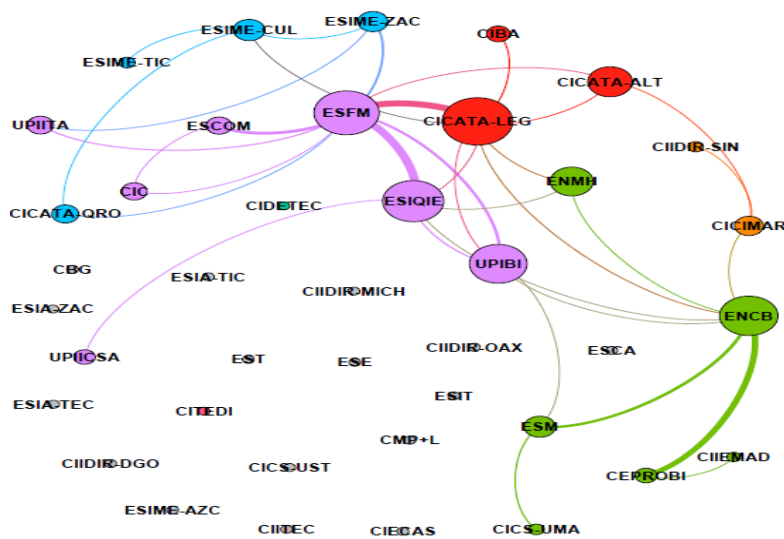
En las figuras 4^a, 4b y 5^a se puede identificar a nivel visual como la red de colaboración intrainstitucional del IPN ha ido creciendo y haciéndose más compleja. Los parámetros de las redes nos permiten mostrar de manera más formal y en forma matemática este crecimiento y aumento de su complejidad. En la Tabla 4 se muestra cómo se han modificado en el tiempo tres parámetros relacionados con las características antes mencionadas. El grado medio, que es el promedio de enlaces que tienen los nodos de la red, pasó de 1.7 en la red del período 1999-2003 a 13 en la red del período 2015-2019. El grado medio con pesos, que es el promedio de publicaciones en colaboración que representa cada enlace, pasó de 5.4 a 98.3, comparando las mismas redes. La densidad de la red, que es el cociente entre los enlaces existentes y los enlaces posibles entre los nodos de la red, pasó de 0.04 a

0.27, comparando las mismas redes. En la Tabla 4 se muestran también los valores para la red intermedia del período 2007-2011 para tener una mejor idea de cómo se han modificado con el tiempo. A nivel de nodos individuales, se pueden identificar a las UAs más influyentes o importantes mediante el parámetro eigenvector. En las redes analizadas aparecen constantemente entre las cinco más influyentes, con ligeras variaciones en posición o presencia en cada una de las tres redes, siete UAs que podemos considerar han sido las más influyentes en el desarrollo de las redes de colaboración. Estas UAs son: ENCB, ESFM, ESQIE, ESIME-ZAC, UPIBI Y CNMN, con valores de eigenvector entre 0.77 y 1.0, siendo 1.0 el máximo posible. Básicamente las mismas UAs han sido las más importantes en la colaboración intrainstitucional durante el desarrollo de estas redes en el período analizado. El CNMN es un caso particular que se comenta más adelante.

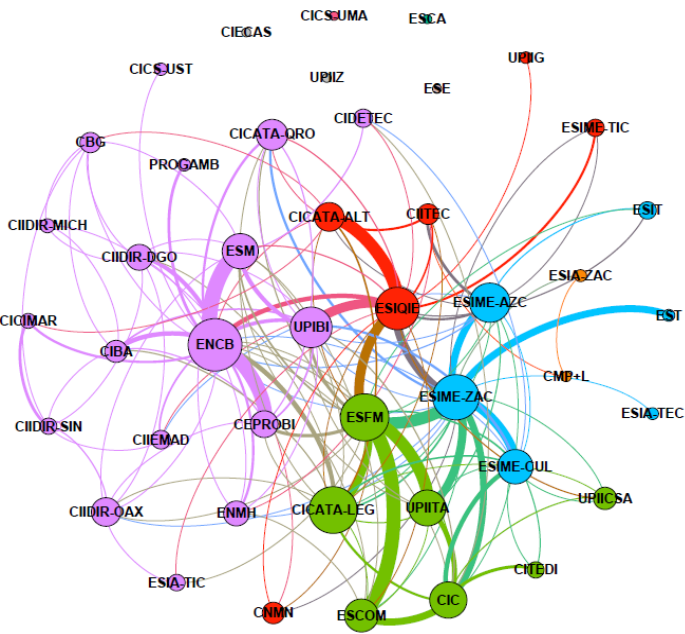
Figura 4

Las redes de colaboración intrainstitucional del IPN en los periodos 1999-2003 y 2007-2011

A 1993-2003



B 2007-2011



Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011 y procesada en Gephi

Tabla 4.

Parámetros de las redes de colaboración intrainstitucional en tres periodos de tiempo diferentes

Período	Grado medio	Grado medio con pesos	Densidad
1999-2003	1.7	5.4	0.04
2007-2011	6.9	32.7	0.16
2015-2019	13.0	98.3	0.27

Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011 y procesada en Gephi

Finalmente, se analizó la red de colaboración intrainstitucional del IPN, considerando todo el período de este estudio (1999-2019). En estos años se produjeron 17,315 publicaciones, de los cuales 4,228 (24.4%) fueron en colaboración entre las diferentes UAs del IPN. En la Figura 5b se muestra la red de colaboración en este período. La red está conformada por 48 nodos y 370 enlaces. Todos los nodos están enlazados con al menos otro nodo. La densidad de la red es de 0.38, que, para este tipo de redes, es un valor de una red bien conectada. La red tiene un grado medio de 15.4, lo que significa que, en promedio, cada UA colabora con otras 15.4 UAs. El grado medio con pesos de la red es de 176. Lo que significa que las colaboraciones entre UAs, en promedio, involucran 176 publicaciones.

También se realizó un análisis de la colaboración a nivel de nodos individuales. En la Tabla 5 se enlistan, en orden descendente, los nodos con los valores más alto en su grado, hasta los que tienen un valor de 20. Como un indicador del nivel de colaboración de cada nodo, se indica su número de publicaciones totales y el número y porcentaje de publicaciones en colaboración. Se incluyen además cuatro parámetros derivados de las estadísticas de la red, los ya mencionados: grado, grado con pesos, eigenvector y el grado de intermediación (betweeness centrality) que está dado por el número de nodos que se conectan y pasan a través de el para llegar a otros nodos.

ENCB tiene una proporción menor de sus publicaciones en colaboración (16.3%). La tercera UA de la Tabla 5 es la ESIQIE, pero en su valor de eigenvector y en su grado de intermediación ocupa el quinto lugar. Algo similar ocurre con el CICATA-LEG que es la cuarta UA de la Tabla en función de su grado, pero es la séptima en centralidad de vector propio y en su grado de intermediación y es la onceava en su grado con peso. En el resto de las UAs de la Tabla 5 no se discierne una correlación obvia entre los diferentes parámetros. Por ejemplo, unas UAs con alta productividad tienen una alta colaboración y otras una baja. En general, no es claro que factores han influido para que las UAs se encuentren en los lugares más altos de colaboración intrainstitucional. La ESIME-ZAC, primera en colaboración, es la segunda en publicaciones totales (Figura 3) y segunda en número de miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) (IPN, 2022b), la ENCB es 1ª tanto en publicaciones como en número de SNIs y la ESIQIE, tercera en colaboración, es cuarta en publicaciones y SNIs. En estas tres UAs si parece haber una correlación entre productividad y número de SNIs para estar en los primeros tres lugares de colaboración, pero para los siguientes se pierden estas correlaciones. CICATA-LEG, cuarta en colaboración, es novena en publicaciones y octava en SNIs y algo similar pasa con las siguientes. Hay otros parámetros que no consideramos en este estudio que podrían correlacionar más con la intensidad de la colaboración institucional. Es el caso de número alumnos, número de posgrados acreditados, grado de colaboraciones con otras instituciones nacionales o del extranjero, entre otras

Tabla 5

Unidades académicas con la mayor colaboración y algunos de sus parámetros de la red

Unidad Académica	Publ. totales	Publ. en colaboración (%)	Grado	Grado con peso	Eigenvector	Grado de intermediación
ESIME-ZAC	2,181	671 (30.7%)	38	816	1	1
ENCB	3,898	638 (16.3%)	32	786	0.94	0.98
ESIQIE	1,930	523 (27%)	31	690	0.90	0.93
CICATA-LEG	966	231 (23.9%)	30	301	0.86	0.93
CNMN	367	252 (68.6%)	29	370	0.83	0.90
ESFM	2,108	606 (28.7%)	28	754	0.78	0.86
UPIBI	744	299 (40.2%)	27	367	0.93	0.86
ESCOM	549	314 (57.2%)	26	413	0.86	0.78
UPIITA	796	425 (53.4%)	24	508	0.64	0.83
CIEMAD	273	80 (29.3%)	23	100	0.74	0.74
ESM	1,584	270 (17%)	23	342	0.93	0.71
CIC	1,766	435 (24.6%)	21	522	0.72	0.72
CHDIR-OAX	643	39(6%)	21	52	0.59	0.72
CICATA-QRO	556	111 (20%)	21	162	0.68	0.72
ESIME-AZC	480	178 (37%)	21	216	0.72	0.70
ESIME-TIC	80	61 (76.2%)	20	88	0.72	0.68
ESIME-CUL	1,101	157 (14.2%)	20	187	0.70	0.64

Fuente: Elaboración propia, en base a información recopilada de Scopus en 2011 y procesada en Gephi

En este estudio no se hizo un análisis profundo de cada nodo de la red, nuestra intención es describir la estructura general de la red y resaltar a los nodos más relevantes, sin embargo, hay detalles de algunos

nodos de la Tabla 5 que es importante mencionar. La UPIBI y la ESM, las cuales ocupan los lugares 7 y 10 respectivamente, en función de su grado, ocupan los lugares 3 y 4 en cuanto a su centralidad de vector propio y su grado de intermediación. Esto indica que están conectados a nodos dominantes y además facilitan la comunicación entre nodos. El CNMN es una unidad de relativamente reciente creación. Fue concebido en 2009 como un centro para dar apoyo a las demás UAs con equipo de última generación en nanotecnología y microscopía confocal (microscopio que utiliza lasers para análisis tridimensionales muy finos de estructuras de células). Esto explica su muy alta proporción de publicaciones en colaboración (68.6%) y el que, a pesar de no tener un número alto de publicaciones, es el quinto nodo más dominante de la red de colaboración.

En la red del IPN se identifican cuatro comunidades de colaboración, etiquetadas por color en la Figura 5. También se observa una importante colaboración inter-comunidades. La comunidad de colaboración más grande (color naranja), está compuesta por 21 nodos que incluyen a todas las UAs del área de CMBB y seis nodos de otras áreas. Podemos considerar que esta comunidad es básicamente la de ciencias médico-biológicas y biotecnología. Se trata de una comunidad muy conectada entre sí. Su nodo principal es la ENCB, la cual colabora con 15 de los 21 nodos que conforman la comunidad. Las colaboraciones más intensas de la ENCB son con la ESM, el CEPROBI, la UPIBI y con la ENMH. Podríamos considerar a este conjunto de cinco UAs como una subcomunidad de colaboración que se conforma muy probablemente debido a mayores afinidades en sus líneas y temas de investigación y a que son UAs con una muy buena productividad en publicaciones.

A diferencia de la comunidad de colaboración del área de CMBB, las UAs del área de ICFM se agrupan en tres comunidades de colaboración distintas. En las tres predominan las UAs del área de ICFM, por lo que las llamaremos ICFM1, ICFM2 e ICFM3. La comunidad ICFM1 (color morado, Figura 5), está compuesta por 14 nodos y cuatro de otras áreas. Su nodo principal es la ESIME-ZAC, la cual colabora con casi todas las otras UAs de la comunidad, con excepción de la ESIT. Sus colaboraciones más intensas son con ESIME-AZC, ESIME-CUL y con el CICATA-QRO. La comunidad de colaboración ICFM2 (color azul, Figura 5), está compuesta por siete nodos, seis del área de ICFM y uno del área de CID. El nodo principal es la ESIQIE, la cual colabora con todos los nodos de la comunidad. Las colaboraciones más intensas son con el CNMN, CICATA-ALT, CIITEC y con el CICATA-LEG. Al igual que las comunidades que se han descrito anteriormente, esta es también una comunidad muy conectada entre sí. Hay otros dos nodos de tamaño grande, que son el CICATA-LEG y el CNMN, sin embargo, su tamaño es debido a que son UAs que tienen muchas colaboraciones con UAs de otras comunidades de colaboración. La comunidad de colaboración ICFM-3 (color verde, Figura 5), está compuesta por seis nodos, cinco del área de ICFM y una del área de CID. El CIC, que colabora con todos los nodos de esta comunidad, es el nodo principal. Sus colaboraciones más intensas son con la UPIITA, ESCOM, y con el CIDETEC. El otro nodo importante es la ESFM que colabora con casi todos los nodos de la comunidad, con excepción de UPIICSA y que tiene sus colaboraciones más intensas con la UPIITA, y con la ESCOM. Hay otras colaboraciones entre nodos de esta comunidad que también son fuertes, como es el caso de la ESCOM y la UPIITA; el CIDETEC y la UPIICSA y la ESFM y el CIC. En esta comunidad están las tres UAs del IPN orientadas hacia la computación y la informática (CIC, ESCOM y CIDETEC), así que se puede considerar que esta es la comunidad de colaboración principalmente en ciencias de la computación y en informática.

ANÁLISIS

Los resultados del análisis bibliométrico demuestran que el IPN tuvo un crecimiento sostenido de sus publicaciones realizadas durante el período de estudio. El crecimiento estuvo dado principalmente por los artículos en revistas científicas, que es el medio que da mayor visibilidad internacional a los resultados de la investigación que se realiza en una institución. Las áreas de ICFM y la de CMBB fueron las que contribuyeron más importantemente a este crecimiento. Esto es esperable pues son las áreas del Instituto con mayor número de profesores, UAs y alumnos. Un hallazgo relevante de este estudio es que las áreas de CSA y de UID, que en los primeros años del estudio tuvieron una productividad registrada en Scopus muy baja, la incrementaron en forma notoria en los años posteriores (Figura 2c y d). Para el área de CSA, como ya se mencionó, una buena parte de su productividad se da en libros que no son registrados por Scopus sin embargo, es muy importante que esté incrementando su productividad en Scopus porque esto le da una mayor presencia internacional a esta importante área del IPN.

Aunque en este estudio no se hicieron comparaciones con las publicaciones de otras instituciones del país, es posible hacer un comparativo con la productividad nacional reportada por el CONACYT en su Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. En su edición 2019 (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2019), indica que durante el período 2009 a 2019, las publicaciones de México crecieron con un TCPA del 7.4%. En ese período, la TCPA de las publicaciones del IPN fue del 8.2%. Los datos del CONACYT y lo reportado en este estudio, aunque no son totalmente comparables debido a posibles diferencias en las fuentes de información, si permiten sugerir que el ritmo de crecimiento de las publicaciones del IPN sigue un ritmo similar al crecimiento de las publicaciones del conjunto de instituciones del país. Caballero-Rico et al. (2012), realizaron un análisis de las publicaciones científicas de la Universidad Autónoma de Tamaulipas en el período 1989-2011. Encuentran que la productividad es baja en el período 1989-2002, pero a partir de 2003 la productividad comienza una etapa de crecimiento acelerado que continúa hasta el final del estudio. Luna-Morales et al. (2018), encuentra que la productividad de artículos científicos de la UADY es muy baja hasta 1986 y a partir de esa fecha se incrementa en forma importante hasta 2015. Esto puede indicar que, en su conjunto, las universidades públicas del país, incluyendo al IPN, han sido un factor importante en el sostenido crecimiento en publicaciones científicas que, de acuerdo con el CONACYT, está experimentando México en las últimas décadas. De hecho, Latinoamérica ha experimentado un crecimiento muy importante en sus publicaciones científicas en las últimas décadas (Ronda-Pupo, 2020; León, 2020), lo cual ha sido analizado en detalle para países como Ecuador (Moreira-Mieles, 2020) y Perú (Limaymanta, 2020). En Latinoamérica, es en las universidades donde se produce la mayoría de las publicaciones científicas. Hay estudios que han identificado un crecimiento de las publicaciones científicas de las universidades de la región en años recientes, es el caso de Perú (Livia, 2021, Millones-Gómez, 2021) y Chile (Colther, 2021). Podemos considerar que el IPN está siguiendo una tendencia compartida con otras universidades de Latinoamérica como respuesta a la exigencia social de que las universidades generen conocimiento nuevo y de que integren la investigación a sus procesos educativos (Romero, 2021).

El análisis de las revistas donde publica el IPN indica que la institución tiene una buena presencia internacional al estar publicando en revistas de todo el mundo con un impacto considerable. Además, por su situación geográfica, es importante su presencia en revistas publicadas por países Latinoamericanos.

En cuanto a la productividad a nivel de UAs, los resultados indican que, aunque hay una UA predominante, le siguen cinco cuya productividad sumada, supera con mucho a la de la UA dominante (Figura 3). Esto indica que la creciente productividad del IPN encontrada en este estudio, no es debida

a unas cuantas UAs con muy alta productividad, sino que la alta productividad se encuentra distribuida entre varias UAs.

Por otra parte, se encontró que cinco UAs que mostraron un vigoroso crecimiento en sus publicaciones, no pertenecen a las UAs con la productividad más alta. Esto podría ser un indicio de que estas cinco UAs están en vías de incorporarse a las UAs con productividad más consolidada, lo cual daría como resultado una disminución en las brechas que hay entre las UAs de mayor y las UAs de menor productividad científica.

El análisis de las redes de colaboración intrainstitucional indicó que, en el período de este estudio, en el IPN no solo hubo un incremento notable en el número de artículos publicados, sino que además hubo un incremento muy considerable en la colaboración entre sus distintas UAs. No tenemos una explicación empírica para esto. Se puede especular que la investigación en el IPN se está haciendo más interdisciplinaria por lo que requiere más interacción entre grupos de investigación con diferentes orientaciones y de diferentes UAs. El IPN, en sus convocatorias para financiar proyectos, asigna apoyos más altos a proyectos multidisciplinarios y en red y es muy probable que este sea un factor que ha impulsado la colaboración entre diferentes UAs. Al parecer, a pesar de que las redes institucionales no han promovido la colaboración tanto como se esperaba (Cárdenas-Tapia, 2021; Cárdenas, 2016; Cárdenas, 2015), las diferentes estrategias directivas de promover la investigación en red han tenido un impacto positivo en el ámbito general. Este es un tema relevante para un estudio más profundo.

En 2006, el IPN creó tres redes de investigación con la finalidad de promover el trabajo en colaboración en temas específicos. Se han seguido creando redes y actualmente hay 12 redes de investigación funcionando (<https://www.ipn.mx/coriyp/>). Cárdenas et al. (2015), estudia la red de colaboración de un centro de investigación del IPN y encuentra índices bajos de cohesión, o sea poco trabajo en red. Cárdenas et al. (2016), aplicando la Teoría de Redes, analizaron las publicaciones de la Red de Medio Ambiente del IPN. Encontraron que es una red muy desconexa, en donde la mayoría de los investigadores tienen dentro de la red de coautorías lo que se denomina una estructura de estrella, esto es que publicaron con un reducido grupo de trabajo, sin colaborar con otros grupos. Cárdenas-Tapia (2021), aplicando también la Teoría de Redes, hace un estudio similar al anterior, pero analizando a los investigadores de 11 redes de investigación del IPN. Encontraron que en general, las redes son desconexas, aunque tres redes estaban un poco más conectadas. Más del 50% de los investigadores tenían estructura de estrella o había grupos de colaboración muy pequeños al interior de la red sin interacciones entre grupos de redes diferentes.

Estos resultados parecen contradecir lo que se presenta en este estudio. Sin embargo, hay que considerar que en este estudio analizamos colaboraciones entre investigadores de diferentes UAs sin enfocarnos en un grupo en particular de ellos, como son los miembros de una red de investigación del IPN. Con este enfoque detectamos un incremento muy importante de las colaboraciones entre las UAs. Esta información es relevante para poder analizar y entender la dinámica de como se ha desarrollado la colaboración intrainstitucional en el IPN. Es claro que los hallazgos de Cárdenas et al. (2015), Cárdenas et al. (2016) y de Cárdenas-Tapia (2021), indican que las redes creadas en el IPN han cumplido solo parcialmente su finalidad de promover la colaboración intrainstitucional. En este estudio, sin enfocarnos específicamente en estas redes, indica que en el período que estudiamos, la colaboración intrainstitucional se incrementó sensiblemente y alcanzó valores que consideramos buenos. Esta contradicción merece un estudio más profundo para aclararla.

Hay muy pocos estudios sobre la colaboración intrainstitucional en las IES nacionales. Russel et al. (2006), analizaron la colaboración en las publicaciones de la UNAM en revistas internacionales en el

período 1999-2002. A nivel intrainstitucional encuentran colaboraciones frecuentes entre dependencias de disciplinas muy cercanas, pero pocas entre dependencias de disciplinas de campos diferentes. Esto es muy parecido a lo que encontramos para el IPN en el período 1999-2003 (Figura 4a). En este estudio encontramos que la red de colaboración intrainstitucional se ha vuelto más compleja al paso del tiempo (Figura 4). Sería interesante analizar, si al igual que en el IPN, las colaboraciones entre UAs de la UNAM han crecido en años recientes. De ser así, podría tratarse de una tendencia a nivel de IES nacionales con alta actividad científica.

El análisis de la red de colaboración del período completo de este estudio mostró que cada nodo de la red no solamente esta, en promedio, muy conectado, sino que las conexiones implican un alto número de publicaciones en colaboración. La red tiene un grado medio de 15.4. Este valor es comparable al comunicado por Barabási (2016) de 16.1 para una red de colaboración de físicos y que el autor considera un valor alto para redes de colaboración de comunidades científicas.

Por otra parte, en el grafo de la red (Figura 5) se identificaron cuatro comunidades de colaboración. Una es la comunidad de CMBB en donde la ENCB es el nodo dominante, sin embargo, hay otros nodos de tamaño solo un poco menor que el nodo dominante. Algo similar ocurre en las tres comunidades de colaboración del área de ICFM, donde también hay un nodo dominante y otros de tamaño no muy diferente. Esto indica que la colaboración no está dominada por unas pocas UAs, sino que se ha extendido entre varias UAs. Esto podría estar relacionado con la productividad de las UAs, la cual, como ya se comentó, tampoco se encuentra concentrada en unas pocas UAs.

El análisis a nivel de nodos individuales (Tabla 5), indicó que la ESIME-ZAC, perteneciente al área de ICFM, y la ENCB, perteneciente al área de CMBB, serían las UAs líderes en colaboración en sus respectivas áreas del conocimiento. Estas UAs son las de mayor productividad (Figura 3) y tienen un alto número de investigadores miembros del SIN, lo cual podría explicar su alta colaboración intrainstitucional.

En la Tabla 5 hay dos UAs que tuvieron un crecimiento de más de 20 veces en el número de sus publicaciones en el período de este estudio: ESIME-TIC y UPIITA (Tablas 3 y 4). Las dos tienen una alta proporción de sus publicaciones en colaboración (76.2% y 53.4%). Esto podría indicar que, para estas UAs, la colaboración con otras UAs del IPN fue un factor importante para el alto crecimiento que tuvieron en sus publicaciones.

Se identificó que el área de CMBB constituye la comunidad de colaboración más grande, mientras que el área de ICFM se agrupa en tres comunidades de colaboración (Figura 5b). En la comunidad ICFM1 se encuentran las cuatro ESIMES y hay una gran colaboración entre ellas. Esto tiene lógica, pues históricamente las ESIMES provienen originalmente de una sola escuela que se ha ido dividiendo en UAs con diferentes especialidades. De hecho, en la Figura 4 y 5a se puede observar que, en todos los períodos de cinco años analizados, las ESIMES en general, han tendido a formar una comunidad de colaboración.

DISCUSIÓN

Este estudio aporta una visión panorámica de como se ha desarrollado la investigación científica y tecnológica en el IPN en las dos últimas décadas. El Instituto muestra un crecimiento sostenido de sus publicaciones y se encontró que la actividad científica se encuentra ampliamente distribuida entre sus diferentes áreas del conocimiento y UAs. A pesar de que hay áreas y UAs más productivas que otras, los datos indican que para el área de CSA y varias UAs que tuvieron una productividad menor a inicio del estudio, ésta se incrementó sensiblemente en los últimos años. De continuar esta tendencia, dará

lugar a que se vayan cerrando las brechas de productividad entre las áreas y UAs del Instituto. Por otra parte, Se identificó como se han estructurado las redes de colaboración intrainstitucional en el IPN y cuáles son sus parámetros básicos de red. Estas redes crecieron en forma muy relevante en el período de estudio, lo que puede ser un indicio de que se están desarrollando investigaciones interdisciplinarias que podrían dar lugar a resultados de mayor impacto en el corto plazo.

Quedan varias tareas por realizar en el futuro. Es necesario hacer un análisis detallado del desarrollo de la investigación a nivel de cada una de las UAs, en particular en aquellas en las que detectamos crecimientos por arriba del promedio, lo que permitiría identificar los factores que impulsaron estos notorios crecimientos. Es necesario hacer un análisis de citas a las publicaciones que permita establecer si las colaboraciones intrainstitucionales están realmente incrementando el impacto de las publicaciones resultantes. Asubiario (2019), encuentra que la colaboración intrainstitucional ciertamente incrementa el número de citas que reciben las publicaciones, aunque lo hace en menor proporción que la colaboración interinstitucional o la internacional. Moreira-Mieles (2020), encuentra que, en Ecuador, aunque ha habido un incremento muy notable en sus publicaciones, esto no ha resultado en un incremento en la calidad, juzgada por las citas recibidas y el cuartil de las revistas donde se publican los artículos. Ronda-Pupo (2020), Analiza el crecimiento de la producción científica Latinoamericana en revistas de la región y encuentra que la productividad crece más rápido que el impacto. En este contexto, el análisis de citas se hace muy importante para establecer si la colaboración intrainstitucional está dando lugar a mejores resultados.

Por otra parte, es necesario estudiar el impacto de la colaboración con otras instituciones nacionales y en particular de la colaboración internacional. Hace falta identificar las líneas de investigación y los temas específicos que se están desarrollando en colaboración, lo que permitiría conocer las fortalezas de la institución derivadas de la colaboración intrainstitucional y la interdisciplina. Esto permitiría tomar decisiones directivas sobre cuales impulsar y apoyar. Por otra parte, un estudio comparativo con instituciones similares al IPN, permitiría situar a la institución en el entorno nacional.

El IPN tiene varias décadas de estar implementando acciones y programas para impulsar la investigación. Los resultados mostrados en este estudio se pueden tomar como evidencia del éxito de dichos programas. Sin embargo, pensamos que un estudio dirigido a evaluar los resultados de cada programa en particular permitiría identificar a los de mayor impacto y, si es el caso, a los de impacto reducido. Estos últimos podrían reducirse o cancelarse, liberando así recursos que podrían reforzar a los programas que se demuestren más exitosos. Un estudio de Colther (2021) analizando la productividad de universidades chilenas aplicando métodos estadísticos y matemáticos, llega a la conclusión de que el incremento a la productividad científica está claramente asociado al tener capital humano de alto nivel (con doctorado y experiencia) y a la disposición de recursos financieros. De acuerdo a esto, los programas del IPN de contratación de personal con doctorado y el financiamiento interno de proyectos de investigación son muy probablemente dos de las acciones que más han impactado en el incremento de las publicaciones científicas y que deben reforzarse.

Recientemente se ha publicado un análisis crítico del efecto que han tenido las políticas de apoyo a la investigación sobre la productividad de universidades peruanas (Millones-Gómez et al., 2021), así como estudios en los que los incentivos pueden tener un efecto negativo en los resultados de las investigaciones, en particular promoviendo la publicación de resultados irreproducibles, alterados o falsos (Lindner et al., 2018). La realización de estudios similares sería de gran utilidad para las autoridades del IPN.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, Luis Humberto Fabila Castillo, Ruy Fabila Monroy; Curación de datos, Luis Humberto Fabila Castillo, Ruy Fabila Monroy; Análisis formal, Luis Humberto Fabila Castillo, Ruy Fabila Monroy; Análisis formal, Luis Humberto Fabila Castillo; Visualización, Luis Humberto Fabila Castillo, Ruy Fabila Monroy; Redacción del borrador original, Luis Humberto Fabila Castillo; revisión, Ruy Fabila Monroy.

Financiamiento: Esta investigación no recibió apoyos económicos externos.

REFERENCIAS

- Adams, J.D., Grant, G.C., Clemmons, J.R. y Stephan, P.E. (2005). Scientific Teams and Institutional Collaborations: Evidence from US Universities, 1981–1999. *Research Policy* 34(3), 259–285. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.01.014>
- Aldana-Zavala, J.J., Vallejo-Valdivieso, P.A. e Isea-Argüelles, J. (2021). Investigación y Aprendizaje: Retos en Latinoamérica hacia el 2030. *Alteridad, Revista de Educación* 16(1), 78-91. <https://doi.org/10.17163/alt.v16n1.2021.06>
- Arencibia-Jorge, R. y Moya-Anegón, F. (2010). Challenges in the Study of Cuban Scientific Output. *Scientometrics* 83(3), 723-737. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0150-7>
- Asubiaro, T. (2019). How collaboration type, publication place, funding and author's role affect citations received by publications from Africa: A bibliometric study of LIS research from 1996 to 2015. *Scientometrics* 120(3), 1261–1287. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03157-1>
- Barabási, A.L. (2016). *Network science*. Oxford: Oxford University Press.
- Caballero Rico, F.C., Uresti-Marín, R.M., y Ramírez de León J.A. (2012). Análisis de la Producción Científica de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Evaluación de su Impacto en los Indicadores Educativos de Calidad. *Revista de la Educación Superior* 41(1), 31-52. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-27602012000100002&lng=es&tlng=
- Cárdenas Tapia, M., Rivas Tovar, L.A., Ramírez Alatraste, F., y Simón Domínguez, N. (2016). Análisis de una Red Científica en México. *Innovar* 26(61), 145-157. <https://doi.org/10.15446/innovar.v26n61.57174>
- Cárdenas Tapia, M., Rivas Tovar, L.A., Ramírez Alatraste M., Simón Domínguez, N. (2015). Análisis de la Estructura de una Red de Conocimiento en México. *Revista de Ciencias Sociales* XXI(4), 521-537
- Cárdenas-Tapia, M. (2021). Redes de Colaboración Científica en el Instituto Politécnico Nacional. *Investigación Administrativa* 50(1127), 192-212. <https://doi.org/10.35426/iav50n127.06>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT (2019) Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. <https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-tecnologia-e-innovacion>
- Colther, C., Piffaut, P. y Montecinos, A. (2021). Analysis of the Scientific Productivity and Technical Efficiency of Chilean Universities. *Calidad de la Educación* 54, 245-270. <https://doi.org/10.31619/caledu.n54.927>

Corrales-Reyes, I.E. (2017). Coautoría y Redes de Colaboración Científica en Medware. *Medware* 17(9), 7103. <https://doi.org/10.5867/medwave.2017.09.7103>

De-Moya-Anegón, Félix; Herrán-Páez, Estefanía; Bustos-González, Atilio; Corera-Álvarez, Elena; Tibaná-Herrera, Gerardo; Rivadeneyra, Federico (2021). *Ranking Iberoamericano de Instituciones de Educación Superior 2021 (SIR Iber)*. Granada: Ediciones Profesionales de la Información. ISBN: 978 84 120239 6 1 <https://doi.org/10.3145/sir-iber-2021>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., y Lim, W.M. (2021). How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research* 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Fabila Castillo, L., Villa Rivera, E., Parada Arias, E., Bustamante Diez, Y., Sánchez Soler, D., Pallán Figueroa C., Marúm Espinosa, E., y Ambríz Chávez R. (2004). Programa Estratégico de Investigación y Posgrado, en *Materiales para la Reforma*, IPN, No 4. Recuperado en marzo de 2022, de: <https://docplayer.es/12325760-Programa-estrategico-de-investigacion-y-posgrado.html>

Figg, W. (2006). Scientific Collaboration Results in Higher Citations Rates of Published Articles. *Pharmacotherapy* 26(6), 759-767. <https://doi.org/10.1592/phco.26.6.759>

Gil Mendieta J., y Ruiz León, 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), 1-38. <https://raco.cat/index.php/Redes/article/view/175644>

Guerrero-Sosa, J.D.T., Menéndez-Domínguez, V.H., Castellanos-Bolaños, M.E., y Curi-Quintal, L.F. (2020). Analysis of Internal and External Academic Collaboration in an Institution through Graph Theory. *Vietnam Journal of Computer Science* 7(4), 391-415. <https://doi.org/10.1142/S2196888820500220>

Instituto Politécnico Nacional (2022a). Oferta Educativa de Posgrado. <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/posgrado/>

Instituto Politécnico Nacional (2022b). Informe Anual de Actividades 2021. <https://www.ipn.mx/assets/files/coplaneval/docs/Evaluacion/InfAnual21.pdf>

Lancho-Barrantes, B.S., Cantú-Ortiz, F.J. (2019). Science in Mexico: a Bibliometric Analysis. *Scientometrics* 118(2), 499–517 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2985-2>

Lee, S. y 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>

León González, J.L., Socorro Castro, A.R., Cáceres Mesa, M.L. y Pérez Maya C.J. (2020). Producción Científica en América Latina y el Caribe en el Período 1996-2019. *Revista Cubana de Medicina Militar* 49(3), e0200573. Recuperada el 3 de enero de 2022, de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572020000300013

Leydesdorff, L., Bornmann, L., y Wagner, C.S. (2019). The Relative Influences of Government Funding and International Collaboration on Citation Impact. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 70(2), 198–201. <https://doi.org/10.1002/asi.24109>

- Limaymanta, C.H., Zulueta-Rafael, H., Restrepo-Arango, C. y Álvarez-Muñoz, P. (2020). Análisis Bibliométrico y Cienciométrico de la Producción Científica de Perú y Ecuador desde Web of Science (2009-2018). *Información, Cultura y Sociedad* 43, 31-42. <https://doi.org/10.34096/ics.I43.7926>
- Lindner, M.D., Torralba, K.D. y Khan, N.A. (2018) Scientific Productivity: An Exploratory Study of Metrics and Incentives. *PLoS ONE* 13(4), e0195321.
- Livia, J., Merino-Soto, C. y Livia-Ortiz, R. (2021). Producción Científica en la Base de Datos Scopus de una Universidad Privada en Perú. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria* 16(1), e1500. <https://doi.org/10.19083/10.19083/ridu.2022.1500>
- Luna Morales, L.E., Luna Morales, E., y Luna Morales, S. (2018). La UADY en la Literatura Científica registrada en Web of Science y Scopus: 1900-2016. *Revista Educación y Ciencia* 7(50), 17-29.
- Mendoza-Chuctaya, G., Chachaima-Mar, J.E., Mejía, C.R., Mirano-Ortiz-de-Orue, M., Rodrigo Ramos K., Calla-Torres, M., De-los-Ríos-Pinto, A., Ccorahua-Ríos, M.S., Santander-Cahuantico, A.C., Centeno-Araujo, A., Miranda-Solis, F y Huaraca Paricahua, R. (2021). Análisis de Producción, Impacto y Redes de Colaboración en Investigaciones Científicas en Scopus en Perú de 2000 a 2019. *Medwave* 21(2), e8121. <https://doi.org/10.5867/medwave.2021.02.8121>
- Millones-Gómez, P.A., Yangali-Vicente, J.S., Arispe-Alburqueque, C.M., Rivera-Lozada, O., Calla-Vásquez, K.M., Calla-Poma, R.D., Requena-Mendizábal, M.F., y Minchón-Medina, C.A. (2021) Research Policies and Scientific production: A Study of 94 Peruvian Universities. *PLoS ONE* 16(5):e0252410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252410>
- Moreira-Mieles, L., Morales-Intriago, J.C., Crespo-Gascón, F. y Guerrero Casado, J. (2020). Caracterización de la Producción Científica de Ecuador en el Período 2007-2017 en Scopus. *Investigación Bibliotecológica* 34(82), 141-157. <http://dx.doi.org/10.22201/ibi.24488321xe.2020.82.58082>
- OECD and SCImago Research Group (CSIC) (2016). *Compendium of Bibliometric Science Indicators*. OECD, Paris. <http://oe.cd/scientometrics>.
- Ortiz Ortiz, R. (2017). Educación Globalizada: Tendencias y Retos de la Educación Superior en México y el Mundo. *Revista Internacional de Estudios sobre Sistemas Educativos (RIESED)* 2(6), 24-39.
- Romero Fernández, A.J., Álvarez Gómez, G.A., y Estupiñán Ricardo, J. (2021). La Investigación Científica en la Educación Superior como Contribución al Modelo Educativo. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S3), 408-415.
- Ronda-Pupo, G.A. (2020). Producción Científica e Impacto del Sistema de Ciencia de Latinoamérica y el Caribe en Revistas de la Región. *Investigación Bibliotecológica* 35(88), 45-62. <http://dx.doi.org/10.22201/ibi.24488321xe.2021.88.58358>
- Russel, J.M., Ainsworth, S., y Narváez-Berthelemot, N. (2006). Colaboración Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y su Política Institucional. *Revista Española de Documentación Científica* 29(1), 54-71. <https://doi.org/10.3989/redc.2006.v29.i1.287>
- SCImago, (s.f.). SJR — SCImago Journal & Country Rank [Portal]. Recuperado en marzo 2022, de: <http://www.scimagojr.com>

Valencia Flores, A.O. (2021). En pos de Organizar la Educación Técnica en México. La Construcción del Instituto Politécnico Nacional. Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México 61, 283-315 <https://doi.org/0.22201/iih.24485004e.2021.61.72825>