

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.003.3.1223>

Vázquez-Tzompantzi, 2024

Recibido: 12-10-2024

Revisado: 23-11-2024

Aceptado: 15-12-2024

Publicado: 20-12-2024

# Dinámicas de colaboración científica de los graduados de doctorado del Instituto Politécnico Nacional en áreas disciplinarias

## Dynamics of scientific collaboration of PhD graduates of the National Polytechnic Institute in disciplinary areas

**Marisol Vázquez-Tzompantzi<sup>1\*</sup>**<sup>1</sup> Dirección de Posgrado de la Secretaría de Investigación y Posgrado, Instituto Politécnico Nacional, Miguel Othón de Mendizabal, Col. La Escalera, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, CP 07320, México.\*Correspondencia: [mvazquez@ipn.mx](mailto:mvazquez@ipn.mx)

### Resumen

El estudio analiza las redes de colaboración científica de investigadores que se graduaron de doctorado y destacaron académicamente en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) durante el periodo 2012-2022. Su objetivo es conocer la estructura y la dinámica de las redes que han conformado estos graduados desde su consolidación como investigadores en las áreas de conocimiento dentro del instituto. La metodología empleada consiste en la recolección de datos de una de las bases institucionales del IPN y de la científica en este caso de *Scopus*, del análisis de redes utilizando el software R y su visualización de estas en *Gephi*. Las redes se dividen en las cuatro disciplinas de conocimiento ofertadas y se evalúan en términos de análisis de redes como nodos, aristas, comunidades detectadas, modularidad y grado promedio, lo que permite identificar patrones de colaboración y estructuras dentro de estas disciplinas científicas. Los resultados muestran que las redes generadas y analizadas presentan una alta modularidad y conectividad en comunidades bien definidas que facilitan la colaboración y el intercambio de conocimientos. Se observa que el área de Ciencias Médico Biológicas tiene una estructura altamente conectada y variada, mientras que otras áreas como la de Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas presentan una modularidad más discreta. Las conclusiones validan que las redes de colaboración científica desempeñan un papel crucial en el fortalecimiento de la investigación y el intercambio de conocimiento, ofreciendo un marco de referencia para el diseño de nuevas y futuras políticas que promuevan la colaboración de venideros investigadores en el instituto.

**Palabras clave:** Redes de investigación, modularidad, comunidades, áreas de investigación, IPN.



# Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

## Abstract

The study analyzes the scientific collaboration networks of researchers who graduated with a doctorate and stood out academically at the National Polytechnic Institute (IPN) during the period 2012-2022. Its objective is to know the structure and dynamics of the networks that these graduates have formed since their consolidation as researchers in the areas of knowledge within the institute. The methodology used consists of collecting data from one of the institutional databases of the IPN and the scientific database in this case from *Scopus*, network analysis using the R software and the visualization of these in *Gephi*. The networks are divided into the four knowledge disciplines offered and are evaluated in terms of network analysis such as nodes, edges, detected communities, modularity and average degree, which allows identifying collaboration patterns and structures within these scientific disciplines. The results show that the networks generated and analyzed present high modularity and connectivity in well-defined communities that facilitate collaboration and knowledge exchange. It is observed that the area of Medical Biological Sciences has a highly connected and varied structure, while other areas such as Engineering and Physic-Mathematical Sciences present a more discrete modularity. The conclusions validate that scientific collaboration networks play a crucial role in strengthening research and knowledge exchange, offering a framework for the design of new and future policies that promote the collaboration of future researchers at the Institute.

**Keywords:** Research networks, modularity, communities, research areas, IPN.

## 1. Introducción

El Instituto Politécnico Nacional (IPN), reconocido por su dedicación a la formación de profesionales y científicos, prioriza la investigación científica y tecnológica como un componente esencial de su misión educativa (IPN, 2022a). El posgrado del IPN está conformado por 47 unidades académicas que incluyen 21 centros de investigación, 5 unidades profesionales interdisciplinarias y 21 escuelas. Oferta 157 programas académicos en niveles de especialidad, maestría y doctorado, disponibles en modalidades escolarizada, no escolarizada y mixta.

Los programas de posgrado del Instituto se distribuyen en cuatro disciplinas del conocimiento: Ciencias Médico Biológicas, Ciencias Sociales y Administrativas, Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas, y las Interdisciplinarias (IPN, 2022b). La productividad científica del IPN ha sido fundamental para el desarrollo y consolidación de sus programas de

posgrado, obteniendo reconocimiento internacional (Fabila-Castillo y Fabila-Monroy, 2023).

La consolidación en el ámbito académico y científico implica el fortalecimiento del desarrollo como investigador en un campo específico mediante la generación continua de productos científicos e innovadores. Los estudios sobre colaboración científica han ganado relevancia en diversas áreas del conocimiento, ya que son esenciales para consolidar campos de investigación (Schmidt et al., 2022). Fuentes et al. (2023) analizaron los procesos de enseñanza y aprendizaje en la investigación en trabajo social, cubriendo artículos de revistas de *Web of Science* y *Scopus* entre 2015 y 2019. Utilizando un enfoque mixto, los hallazgos indican una concentración de producción en Estados Unidos y Europa, con enfoque cuantitativo, y donde los estudiantes son los sujetos de investigación más comunes. Li, Zhu y Niu (2022) estudiaron las redes de colaboración durante la pandemia de



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

COVID-19, observando que las redes académicas en este campo aún se caracterizan por investigaciones independientes, lo que limita el flujo de conocimiento. Esto podría obstaculizar el avance científico en este campo. Por otro lado, Pei et al. (2024) analizaron desde el contexto de las redes de colaboración científica la co-evolución entre la movilidad científica internacional y la colaboración científica global usando datos de *Scopus* desde 1788 hasta 2020 y así ofrecer ideas para implementar políticas adecuadas relacionadas con la movilidad científica y de colaboración internacional. Detectaron que las redes de movilidad y colaboración se han vuelto más interconectadas a nivel global, con un aumento significativo de la internacional. Sin embargo, el "efecto Matthew" destaca el dominio de unos pocos actores principales, con una mayor alineación entre movilidad y colaboración en países avanzados en contraste con los países rezagados.

Zhang et al. (2024) investigaron la red de colaboración científica entre los países de la Iniciativa de la Franja y la Ruta (BRI) de 2005 a 2019. Utilizando análisis de redes sociales, identificaron a China e India como centros clave de esta red, aunque señalaron que aún se necesita mejorar la eficiencia de las colaboraciones. Bai, Zhang, Liu y Xia (2023) propusieron un marco denominado MSCIRank para mejorar la identificación de artículos de alto impacto en redes de colaboración científica. Este método permite ajustar el peso de las autocitas, mejorando la precisión en la medición del impacto de la colaboración. Jung, Phoa y Ashouri (2022) desarrollaron un modelo de autor principal para analizar el efecto de la popularidad en la colaboración científica, mostrando que los autores más populares generan más publicaciones. Su modelo permitió identificar autores influyentes, demostrando los efectos positivos de la popularidad en los sistemas colaborativos analizados, por su parte Liu y Lin (2024) en el mismo contexto de estilo de autores,

encontraron que la productividad científica de los ganadores del Premio Nobel está relacionada tanto con el número como con la diversidad de sus colaboraciones. Sin embargo, una dependencia excesiva en el conocimiento externo puede limitar el impacto positivo de sus áreas de investigación.

El análisis de Zhai y Yan (2022) sobre redes de colaboración dirigidas (DCN) destaca la importancia de las jerarquías en la investigación científica. Colaboraciones con mayor orden jerárquico tienden a generar un mayor impacto académico, y su análisis propone nuevas métricas para evaluar la diversidad en las colaboraciones. Lathabai et al. (2022) propusieron un sistema basado en procesamiento de lenguaje natural y análisis de redes para identificar colaboraciones institucionales estratégicas. Este enfoque mejora la productividad institucional al sugerir socios potenciales, como se demostró en un estudio sobre 195 instituciones indias del área de informática. Ronda-Pupo (2023) analizó cómo México ha servido de puente para la colaboración científica entre Cuba y EE.UU. Los resultados revelan que, a medida que crecen las coautorías entre académicos de ambos países, también aumentan significativamente las publicaciones coautorizadas en *Scopus* y *Web of Science*, además de crear vínculos entre científicos a pesar de las hostilidades políticas.

La investigación en red ayuda a superar el individualismo académico, promoviendo espacios abiertos y colaborativos para la ciencia. Estas redes facilitan un diálogo enriquecedor que permite una comprensión más profunda de los objetos de estudio en contextos de investigación (Cardoso et al., 2024). Por ello, las sociedades científicas juegan un rol crucial al facilitar la colaboración interdisciplinaria, Vráblová et al. (2024) sostienen que la colaboración científica es esencial para comprender la distribución del conocimiento y fortalecer la producción académica de alto impacto. Así mismo, un análisis



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

bibliométrico de la producción científica sobre redes e innovación ayuda a comprender como estas colaboran y cómo funcionan mediante el uso de métricas específicas, para interpretar cuantitativamente dicho comportamiento (Cárdenas et al., 2024). La teoría de redes permite analizar la evolución de la cohesión y densidad en las colaboraciones científicas, revelando dinámicas clave (Marefat y Khademi, 2022). Las redes de coautoría son esenciales para entender la estructura y centralidad de las colaboraciones académicas. Sin embargo, aún faltan estudios específicos sobre cómo estas redes influyen en la productividad de los graduados de doctorado del IPN, lo cual es crucial, ya que los patrones de colaboración varían entre instituciones y disciplinas.

La publicación de artículos en colaboración crea las primeras conexiones de una red científica, donde los autores son nodos y los artículos aristas, (Affonso et al., 2022). El análisis de Bulian et al. (2022) destaca que, aunque la centralidad de los mentores y protegidos no está correlacionada, el grado ponderado es clave para introducir a los protegidos en redes de colaboración. Se plantea que las diferencias en la estructura y modularidad de las redes de colaboración científica entre las diversas áreas de conocimiento del IPN tienen un impacto significativo, en donde a mayor conectividad y modularidad se promueve de manera más eficiente el intercambio de conocimientos y de colaboración, lo que a su vez fortalece la capacidad investigativa de los académicos.

Este estudio analiza la red de investigación formada por los graduados de doctorado más destacados del IPN entre 2012-2022. Su objetivo es conocer la estructura y la dinámica de las redes que han conformado estos graduados desde su consolidación como investigadores en las áreas de conocimiento dentro del instituto. Mediante el análisis de redes de colaboración científica, se busca identificar patrones de

cooperación que pretendan contribuir al entendimiento de la estructura conformada por los graduados-investigadores y su productividad. Esto también permitirá obtener un panorama más general desde la teoría de redes sobre las colaboraciones científicas en las diferentes áreas de conocimiento que integran el posgrado en el IPN, y así de ser posible diseñar en un futuro políticas que promuevan la investigación y la colaboración en sus venideros científicos.

## 2. Materiales y métodos

El diseño metodológico de este estudio es de tipo no experimental con corte transversal, y el análisis se llevó a cabo sobre una base de datos ya existente, recopilada a lo largo de un periodo de 10 años. Esta estructura permite una observación detallada y un análisis retrospectivo de la información relacionada con los graduados de programas de posgrado.

El enfoque del estudio es descriptivo, ya que se caracteriza la relación que existe entre los graduados de posgrado y las redes de colaboración científica que han generado desde el momento en que obtienen su grado académico. Se fundamenta en el análisis de redes colaborativas, utilizando la teoría de redes o de grafos, describiendo las características de estas redes desde el concepto de número de colaboraciones, nodos, aristas, grado promedio, así como los posibles factores que influyen en el desarrollo de estas. Para la comprobación de lo planteado, se extrajo la muestra de la base de datos de la Dirección de Posgrado (DPos) del IPN, al cual se le aplicó técnicas de la teoría de redes, estos datos son: nombre del alumno, fecha en que obtuvo el grado, número de directores de tesis, nombre de los directores de tesis, y grado académico. Esta información fue anonimizada para evitar sesgos y cumplir con las normativas vigentes respecto a la protección de datos personales.

### 2.1 Recolección de Datos

La base de datos institucional de la dirección de posgrado del IPN, fue utilizada para identificar a



# Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

los graduados de doctorado que destacaron académicamente durante el periodo 2012-2022. Este repositorio constituye la referencia principal de estudio y se complementó con información obtenida de fuentes públicas para el análisis preciso de la trayectoria académica de los titulados. Dicho recurso es el banco de datos científica *Scopus*, de ella se obtuvo contenido científico derivado de los autores identificados, como sus publicaciones y coautorías, en formato CSV.

## 2.2 Preparación de Datos

Se organizó el archivo CSV descargado para asegurar que todos los datos necesarios estuvieran correctamente estructurados. Las columnas principales incluyeron: Autores, Afiliación, Documentos, Ciudad, País, Título, Año, Volumen, Artículo Número, DOI, Citado por, Resumen, Index, Referencias, Editorial.

## 2.3 Análisis de Redes

Para fines de este estudio y calcular las métricas de análisis de redes (nodos, aristas, comunidades, modularidad y grado promedio), se desarrolló un script en R *Studio* para procesar el archivo CSV:

```
library(tidyverse)
library(igraph)
library(openxlsx)

# Cargar el archivo CSV
scopus_data <- read.csv(file.choose())
# Verificar las primeras filas del archivo para
entender la estructura
head(scopus_data)

# Procesar los datos de autores
scopus_data <- scopus_data
%>%mutate(Authors =
strsplit(as.character(Authors), ", ")) %>%
unnest(Authors)
```

Este procesamiento permite preparar los datos para posteriormente obtener las métricas citadas, ya que estas sirven para analizar, interpretar y evaluar redes complejas (teoría de redes) desde diferentes contextos, siendo en esta investigación

ir conociendo el comportamiento colaborativo de los graduados en su área científica. Nos ayuda a observar la estructura, identificar la dinámica y entender el funcionamiento de las interacciones sociales, académicas y de vinculación.

Los *nodos* son un parámetro, que permite identificar la magnitud de los participantes o elementos de la red (representa a los graduados e investigadores). En una red académica, entre más nodos la integren, indica una mayor participación de investigadores o instituciones, reflejando la escala de la red. Las *aristas* (publicaciones científicas) en cambio, permiten medir la interacción y la colaboración dentro de ella. Entre más aristas se tenga, nos indica una red más conectada y colaborativa, siendo un valor de dinamismo y actividad en el ámbito socio-académico. Las *comunidades* representan relaciones interconectadas entre ciertos nodos que identifican subgrupos dentro de la red, siendo útil para comprender cómo se organizan los integrantes (nodos) y si existen enfoques comunes o estudios compatibles de estos. La *modularidad* es un indicativo de que tan bien están conformadas las comunidades dentro de la red, conocido como cohesión, facilitando entender patrones de colaboración, el máximo valor que se puede tener es 1, por lo tanto valores cercanos a este índice, nos determina el nivel de integración de las comunidades en una red. Y por último, el *grado promedio* representa la conectividad promedio de los nodos a través de las aristas (artículos científicos), lo que refleja la densidad de la red y el número de elementos con lo que un nodo se conecta con otro a través de la arista (frecuencia). Esto es valioso para poder identificar las actividades promedio de colaboración e interacción, este valor se puede medir con las publicaciones, proyectos, patentes, capítulos de libros, etc. que se tienen en común, midiendo las colaboraciones según la disciplina.

## 2.4 Generación de la red

Se creó una lista de aristas (*edge list*) a partir de las publicaciones, identificando las colaboraciones entre los autores. Se utilizó el paquete *igraph* para crear un objeto gráfico a



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

partir de la lista de aristas. Se calcularon varias métricas de análisis de redes, incluyendo: comunidades detectadas utilizando el algoritmo de *Louvain* (*cluster\_louvain*), modularidad de la red y grado promedio (número de conexiones por nodo):

```
# Crear un dataframe de relaciones de coautoría
coauthor_edges <- scopus_data %>%
  group_by(Title) %>%
  summarise(Authors = list(Authors)) %>%
  unnest(Authors) %>%
  group_by(Title) %>%
  do(data.frame(t(combn(.$Authors, 2))))
  %>%
  ungroup() %>%
  rename(from = X1, to = X2)
```

### 2.5 Exportación de datos

Los resultados se exportaron a un archivo Excel para facilitar su análisis y revisión. El archivo incluyó las métricas de cada red de colaboración, organizadas por área o disciplina científica. Se utilizó el Software *Gephi* para visualizar las redes de colaboración resultantes, el archivo CSV generado se importó para su graficación, en donde se aplicaron técnicas de análisis de redes para su representación.

Se utilizaron diferentes diseños y filtros para resaltar las comunidades detectadas y las conexiones entre los autores. Se interpretaron las métricas calculadas para cada red de colaboración, considerando aspectos como la densidad de la red, la cohesión de las comunidades y la centralidad de los nodos en *Gephi*.

Se elaboraron conclusiones sobre la estructura y las características de las redes en cada área o disciplina científica.

## 3. Resultados

Una red de colaboración científica en este estudio es una representación estructural de las relaciones e interacciones entre investigadores o autores (graduados y colaboradores) que

trabajan juntos en proyectos científicos o publican en coautoría. Los principales elementos que conforman esta red son los nodos, que representan a los actores (investigadores), y las aristas, que son las conexiones entre los nodos y simbolizan las colaboraciones científicas, como la coautoría de artículos o la participación conjunta en investigaciones. Estos elementos estructuran la red, permitiendo analizar cómo se conectan y organizan las colaboraciones dentro de la comunidad científica del IPN.

Se compararon las métricas y las visualizaciones de las redes en las cuatro áreas o disciplinas dentro del programa de posgrado del instituto para identificar patrones y diferencias significativas, estas áreas son: Ciencias Médico Biológicas, Ciencias Sociales y Administrativas, Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas, y las Interdisciplinarias.

### 3.1 Análisis de redes de colaboración

#### 3.1.1 Red del Área Médico Biológicas

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos= 18,764 y aristas= 6,149,831. La red analizada (Figura 1) muestra una estructura altamente modular con 57 comunidades bien definidas y una conectividad promedio extremadamente alta. Esta estructura define una red muy densa y diversificada, con subgrupos claramente diferenciados y una gran cantidad de conexiones directas entre los nodos. Su modularidad de 0.689 es alta, lo que indica que las comunidades detectadas están bien definidas y que hay más conexiones dentro de las comunidades que entre ellas, esta estructura modular identifica a los nodos dentro de cada comunidad con interconectividad fuerte. Los autores dentro de una misma comunidad colaboran frecuentemente entre sí, pero tienen menos interacciones con autores de otras comunidades.

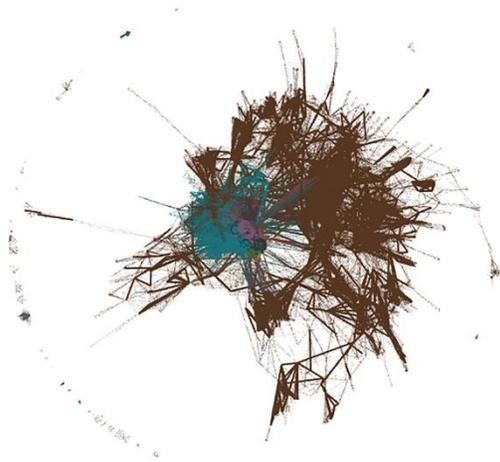
El grado promedio de la red (Figura 1) es de 671.1 es extremadamente alto, lo que implica que, en promedio, cada nodo está conectado aproximadamente 671 veces con otros nodos. Esto indica una red altamente conectada, donde



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

la mayoría de los nodos tienen un gran número de conexiones directas con otros nodos. En síntesis, la red de autoría y coautorías analizada es altamente modular y muy conectada. Los autores forman comunidades bien definidas y colaboran estrechamente dentro de estas comunidades (los autores tienen numerosos coautores), fomentando la creación de amplias redes de colaboración. La alta conectividad promedio sugiere una red de colaboración activa y expansiva. Esta estructura facilita el intercambio de conocimientos y recursos, y probablemente contribuye a la producción científica dentro de las comunidades.

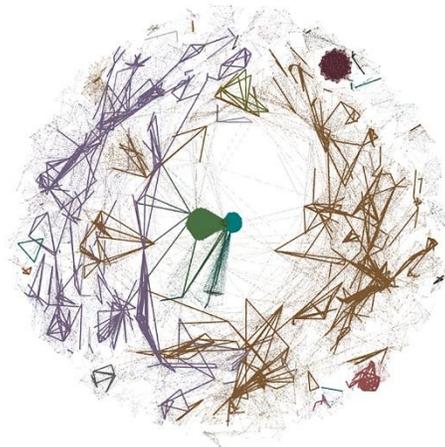


**Figura 1.** Red del Área Médico Biológicas.

### 3.1.2 Red del Área de Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos = 5,558 y aristas = 1,074,043. La red tiene una estructura muy fragmentada, con 78 comunidades distintas. Esto indica que los nodos tienden a agruparse en muchos subgrupos pequeños que están más densamente conectados entre sí que con el resto de la red. En una red de colaboración de autores, esto podría sugerir la existencia de muchos pequeños grupos de investigación o subdisciplinas dentro del campo estudiado (Figura 2).

La modularidad, es un indicador de la calidad de la división de la red en comunidades. Un valor de 0.108 indica una modularidad baja, lo que sugiere que la red no está bien dividida en comunidades. En otras palabras, los subgrupos identificados no están tan densamente conectados internamente en comparación con sus conexiones externas. Esto podría significar que la red tiene una estructura más dispersa y menos definida en términos de comunidades.



**Figura 2.** Red del Área de Ingeniería y Ciencias Físico Matemáticas.

Un grado promedio de 387.6 es extremadamente alto, lo que sugiere que, en promedio, cada nodo está conectado a casi 388 veces con otros nodos. Esto indica una red extremadamente densa, donde la mayoría de los nodos están altamente interconectados. En una red de colaboración de autores, esto podría reflejar un campo de estudio donde los investigadores colaboran intensamente con muchos colegas.

La red analizada (Figura 2) muestra una estructura comunitaria muy fragmentada, pero con una baja modularidad, lo que indica que los subgrupos no están tan claramente definidos. En concreto, esta estructura sugiere un ambiente altamente colaborativo, aunque disperso en términos de comunidades definidas. La alta densidad de conexiones puede facilitar el



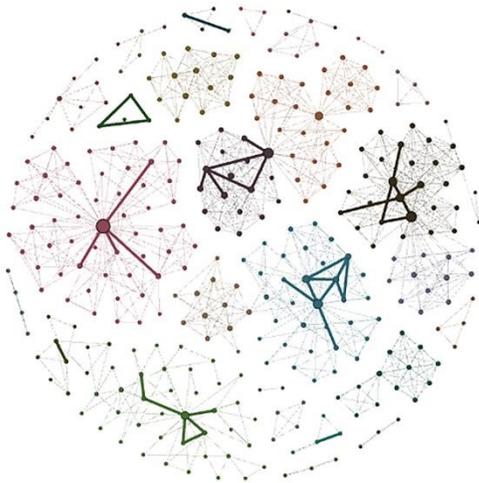
## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

intercambio de información y la innovación, pero la baja modularidad sugiere que estos intercambios no están concentrados en subgrupos específicos, sino que están distribuidos más ampliamente a través de la red.

### 3.1.3 Red del Área de Sociales y Administrativas

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos = 325 y aristas: 1030. La red tiene una estructura comunitaria con 29 comunidades distintas identificadas. En una red de colaboración de autores, esto podría sugerir la existencia de varios grupos de investigación o subdisciplinas dentro del campo estudiado (Figura 3). La modularidad es alta de 0.865 y están muy densamente conectados internamente en comparación con sus conexiones externas. Esto podría significar que la red tiene una estructura bien definida en términos de comunidades, con una clara separación entre los diferentes grupos.



**Figura 3.** Red del Área de Sociales y Administrativas.

Un grado promedio de 6.56 es una red moderadamente densa, donde, en promedio, cada nodo está conectado a aproximadamente 6 veces con otros nodos. En una red de colaboración entre autores, esto podría reflejar

un campo de estudio donde los investigadores colaboran de forma continua con otros colegas, manteniendo relaciones profesionales constantes, pero sin llegar a depender excesivamente de las mismas personas. Este tipo de colaboración permite el intercambio de ideas y conocimientos, manteniendo la diversidad de enfoques.

La red analizada en la Figura 3, muestra una estructura comunitaria con 29 comunidades distintas, y una alta modularidad 0.865, lo que indica que los subgrupos están muy bien definidos. Esta estructura sugiere un ambiente colaborativo bien definido, con varios grupos de investigación o subdisciplinas claramente separados. La alta modularidad indica que estos grupos están muy bien conectados internamente, mientras que la densidad de las conexiones es moderada, facilitando el intercambio de información y la colaboración sin una sobrecarga de conexiones.

### 3.1.4 Red del Área Interdisciplinarias

Elementos fundamentales de la estructura de la red: nodos = 1558 y aristas = 7162. La red tiene una estructura comunitaria bastante compleja, con 46 comunidades distintas identificadas, indica la existencia de múltiples grupos de investigación o subdisciplinas dentro del campo estudiado (Figura 4).

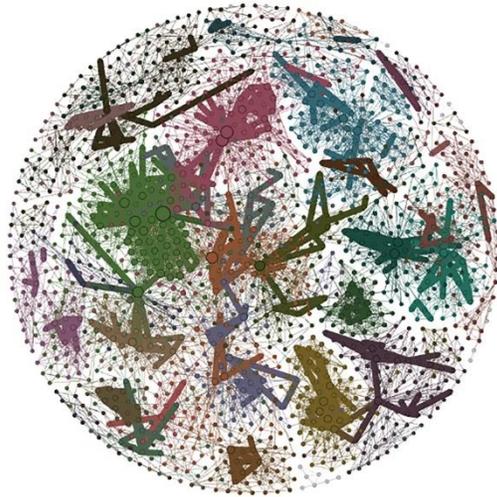
Modularidad de 0.882 indica que la red está muy bien dividida en comunidades, con nodos más conectados dentro de sus comunidades que con nodos de otras comunidades. Esto sugiere que los subgrupos identificados son cohesivos (grado de conectividad y proximidad entre los nodos dentro de la red) y bien definidos. El grado promedio de 9.75. Esto sugiere que la red es moderadamente conectada, con una densidad de conexiones suficiente para facilitar la colaboración y el flujo de información entre los otros nodos. La red analizada de la Figura 4, muestra una estructura comunitaria lo suficientemente robusta, y una muy alta modularidad, en donde el grado promedio nos sugiere una red discretamente conectada, facilitando la colaboración y el



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

intercambio de información entre los autores de manera menos frecuente en comparación con las otras redes.



**Figura 4.** Red del Área Interdisciplinarias.

En el contexto de una red de colaboración de autores, esta estructura indica una comunidad de investigación activa y diversificada, con múltiples grupos de trabajo que colaboran dentro de sus subgrupos y ocasionalmente entre ellos. La red se visualiza organizada, lo que puede ser beneficioso para la difusión de conocimientos y la innovación dentro del área disciplinar.

### 3.2 Estructura general

El estudio que hemos llevado a cabo sobre las redes de colaboración formadas por los graduados de posgrado del IPN durante el periodo 2012-2022 ofrece una visión detallada de cómo estas redes contribuyen a la consolidación de sus autores, desde su composición (nodos y aristas) y su estructura modular de estas redes (comunidades), hasta cómo funciona desde la teoría de redes la colaboración de estas y el tipo de interconectividad (grado promedio) y modularidad (Tabla 1).

La tabla 1, muestra un análisis de redes de colaboración académica en las cuatro áreas de

conocimiento: CMB (Ciencias Médico Biológicas), CFM (Ciencias Fisicomatemáticas), CSA (Ciencias Sociales y Administrativas) y el área Interdisciplinaria. En CMB se identifican 18,794 nodos y 6,129,831 aristas, distribuidos en 57 comunidades, con modularidad de 0.68 y un grado promedio de 671. En CFM, la red se estructura con 5,558 nodos y 1,074,013 aristas, conformando 78 comunidades, con menor modularidad de 0.108 y un grado promedio de 387. En CSA tiene 325 nodos y 1,030 aristas en 29 comunidades, con modularidad de 0.865 y un grado promedio de 6.56. Finalmente, el área interdisciplinaria registra 1,558 nodos y 7,162 aristas, en 46 comunidades, con mayor modularidad de 0.882 y un grado promedio de 9.75, destacándose por su mayor cohesión y conectividad.

## 4. Discusión

La estructura de las redes de colaboración en diversas áreas de conocimiento del IPN, evidencia notables diferencias en términos de conectividad y modularidad. En el Área de Ciencias Médico Biológicas (CMB), la red cuenta con 18,794 nodos y 6,129,831 aristas, distribuidos en 57 comunidades con una modularidad de 0.68, lo que refleja una red altamente colaborativa y cohesionada. El grado promedio de 671 indica una densidad significativa en las conexiones entre los investigadores, lo cual sugiere que los científicos en esta área tienden a formar redes extensas y activas de coautoría, fomentando una intensa producción científica. En contraste, el Área de Ciencias Fisicomatemáticas (CFM) presenta 5,558 nodos y 1,074,013 aristas, con una modularidad menor de 0.108, lo que indica una red menos cohesionada, pero con una mayor cantidad de comunidades (78). Esto sugiere que, aunque la colaboración es frecuente, los investigadores tienden a colaborar en subgrupos más pequeños y especializados.

El Área de Ciencias Sociales y Administrativas (CSA) se distingue por su bajo número de nodos (325) y aristas (1,030), pero una modularidad alta de 0.865, lo que refleja que, a pesar del tamaño relativamente reducido, la colaboración es muy



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

estructurada dentro de comunidades bien definidas. El grado promedio, de 6.56, sugiere que los investigadores colaboran de manera más esporádica, formando redes menos densas. Por último, el Área Interdisciplinaria se destaca por tener una estructura con 1,558 nodos y 7,162 aristas, distribuidos en 46 comunidades con una alta modularidad de 0.882, lo que refleja una fuerte interconectividad entre los investigadores de diferentes disciplinas. El grado promedio de 9.75 en esta área indica una colaboración significativa, aunque más moderada en comparación con CMB. Estos resultados nos muestran que las redes interdisciplinarias tienden a formar núcleos de cooperación muy cohesionados y productivos.

La hipótesis central de este estudio, que sostiene que la estructura y modularidad de las redes de colaboración científica ejercen una influencia significativa en la consolidación de los graduados de doctorado como investigadores prominentes en el IPN, se ve robustamente respaldada por los resultados obtenidos. Observamos que las redes densas no solo facilitan el intercambio de conocimientos entre investigadores, sino que también crean un entorno óptimo para la formulación de nuevos proyectos que fomenten la incubación de nuevas ideas e innovaciones por

su interconectividad y modularidad de su estructura.

La existencia de subgrupos claramente delimitados dentro de estas redes, conocidos como comunidades, permite a los investigadores enfocarse y profundizar en temas específicos de investigación, favoreciendo el desarrollo profesional y académico continuo de los investigadores.

Un alto grado de conectividad dentro de estas redes implica que los investigadores del IPN tienen la capacidad de participar en colaboraciones de diferente índole ayudando a trascender las fronteras tradicionales del conocimiento. Esta amplia red de colaboraciones ofrece oportunidades para participar en proyectos de investigación de gran escala y de alto perfil, lo que a su vez puede aumentar significativamente su visibilidad y reconocimiento en la comunidad científica global.

Por lo tanto, este estudio no solo confirma la importancia de las redes de colaboración en la consolidación de los investigadores, sino que también subraya la necesidad de estrategias institucionales que promuevan la formación y el mantenimiento de estas redes como una parte fundamental del desarrollo académico y profesional en el IPN.

**Tabla 1.** Métricas y estructura de las redes de colaboración en las cuatro áreas de conocimiento.

| Área de conocimiento | Nodos | Aristas | Comunidades | Modularidad | Grado Promedio |
|----------------------|-------|---------|-------------|-------------|----------------|
| CMB                  | 18794 | 6129831 | 57          | 0.68        | 671            |
| CFM                  | 5558  | 1074013 | 78          | 0.108       | 387            |
| CSA                  | 325   | 1030    | 29          | 0.865       | 6.56           |
| Interdisciplinaria   | 1558  | 7162    | 46          | 0.882       | 9.75           |

## 5. Conclusión

La consolidación de las redes de investigación en el IPN es un proceso dinámico que depende crucialmente de la habilidad de los investigadores para establecer y mantener colaboraciones efectivas. Este estudio ha demostrado que las

redes en cuestión presentan una estructura modular robusta y alta conectividad, facilitando la consolidación de los graduados de posgrado como investigadores competentes. La modularidad, que implica una estructuración en subgrupos o módulos que interactúan más



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

frecuentemente entre sí que con el resto de la red, promueve colaboraciones intensivas y especializadas dentro de áreas específicas. Sin embargo, es crucial continuar investigando para optimizar estas redes y garantizar que todos los investigadores, sin importar su área de especialización, tengan acceso a más oportunidades colaborativas que potencien su desarrollo científico.

Las redes según sus áreas de conocimiento, como la Red de Ciencias Médico Biológicas resaltan por su gran tamaño y densidad, una alta modularidad y numerosas conexiones que indican una colaboración intensiva y bien estructurada dentro de subgrupos claramente definidos. Contrariamente, la Red Interdisciplinaria, aunque también con comunidades claramente definidas, muestra un número moderado de conexiones, reflejando colaboraciones más específicas y concentradas. La Red de Ingeniería y Ciencias Fisicomatemáticas, aunque vasta en conexiones, tiene una baja modularidad que sugiere una estructura menos cohesiva en subgrupos. Por su parte, la Red de Ciencias Sociales y Administrativas, aunque es la más pequeña y menos conectada, muestra una alta modularidad que evidencia comunidades bien estructuradas a pesar de tener un menor número de colaboraciones. Este análisis detallado de las estructuras de las redes de colaboración subraya la variabilidad significativa en tamaño, cohesión y densidad entre las diferentes disciplinas del conocimiento. Los hallazgos de este estudio no solo ofrecen un punto de partida valioso para el desarrollo de estrategias destinadas a fortalecer las redes de colaboración científica en el IPN, sino que también avanzan el progreso de la ciencia colaborativa en México.

### 6. Referencias

1. Affonso, F., Santiago, M. D., & Rodrigues Dias, T. M. (2022). Análise da evolução de redes de colaboração científica para a predição de novas coautorias. *Transinformação*, 34, e200033. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202234e200033>
2. Bai, X. M., Zhang, F. Liu J., & Xia, F. (2023). Quantifying the impact of scientific collaboration and papers via motif-based heterogeneous networks. *Journal of Informetrics*, 17(2). <https://doi.org/10.1016/j.joi.2023.101397>
3. Bulian, L., Cavar, I., & Mance, Z. (2022). "It's dangerous to go alone!" Scientific excellence of PhD holders and their mentors - network analysis of Croatian doctoral students. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 20(4), 483-499. <https://doi.org/10.7906/indecs.20.4.12>
4. Cárdenas, J., Ortega, J. L., & Fernández-Esquinas, M. (2024). Networks and innovation: enhancing the knowledge through a bibliometric network analysis. *International Journal of Technology Management*, 94(2). <https://doi.org/10.1504/IJTM.2024.135712>
5. Cardoso, T. M. L., Pinto, J. P., & Pestana, F. (2024). Networked research and open science: the WEIWER® experience. *Educational Media International*, 61(1-2), 16-25. <https://doi.org/10.1080/09523987.2024.2357475>
6. Fabila-Castillo, L. H., & Fabila-Monroy, R. (2023). Colaboración y Publicaciones Científicas en el Instituto Politécnico Nacional 1999-2019. *Investigación Administrativa*, 52(132). Instituto Politécnico Nacional, México.
7. Fuentes, M. G., Vázquez, H. C., Jarpa-Arriagada, C. G., & Muñoz, H. V. (2023). Teaching and learning processes of social work research. *Perspectiva Educacional*, 62(4), 157-178. <https://doi.org/10.4151/07189729-Vol.62-Iss.4-Art.1287>



## Artículo de investigación

Vázquez-Tzompantzi, 2024

8. IPN. (2022a). Instituto Politécnico Nacional. <https://www.ipn.mx/comunidad/organizacion-y-estructura/mision-e-historia.html>
9. IPN. (2022b). Instituto Politécnico Nacional. <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/posgrado/>
10. Jung, H., Phoa, F. K. H., & Ashouri, M. (2022). A Leading Author Model for the Popularity Effect on Scientific Collaboration. *Complex Networks & Their Applications*, X(1), 424-437. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-93409-5\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-93409-5_36)
11. Lathabai, H. H., Nandy, A., & Singh, V. K. (2022). Institutional Collaboration Recommendation: An expertise-based framework using NLP and Network Analysis. *Expert Systems with Applications*, 118317. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118317>
12. Li, H., Zhu, Y., & Niu, Y. (2022). Contact Tracing Research: A Literature Review Based on Scientific Collaboration Network. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9311. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159311>
13. Liu, C. H., & Lin, J. Y. (2024). Collaboration-based scientific productivity: evidence from Nobel laureates. *Scientometrics*, 129(7), 3735-3768. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05062-8>
14. Marefat, R., & Khademi, R. (2022). Visualizing the scientific collaboration of nonlinear analysis in co-authorship: A scientometrics study. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 1-9. <http://dx.doi.org/10.22075/ijnaa.2022.21079.2229>
15. Schmidt, C. M., Cielo, I. D., Sanches-Canevesi, F. C., & Cruz, R. W. D. (2022). Scientific collaboration networks in Secretarial field: an analysis among the researchers of ABPSEC. *Revista de Gestão e Secretariado*, 13(2), 172-200. <https://doi.org/10.7769/gesec.v13i2.1289>
16. Pei, R. M., Li, L. Q., Yang, Y. Y., & Zhou, Q. (2024). Co-evolution of international scientific mobility and international collaboration: a Scopus-based analysis. *Scientometrics*, 129(7), 4353-4378. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05081-5>
17. Ronda-Pupo, G. A. (2023). Mexico: A bridge in Cuba-US scientific collaboration. *Scientometrics*, 128(4), 2301-2315. <https://doi.org/10.1007/s11192-023-04668-8>
18. Vráblová, M., Bonetti, G., Henehan, G., Brown, R. E., Sykora, P., Marks, R. S., ... & Tartaglia, G. M. (2024). Promoting International Scientific Cooperation: the Role of Scientific Societies. *EuroBiotech Journal*, 8(3), 115-121. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2024-0011>
19. Zhai, L., & Yan, X. (2022). A directed collaboration network for exploring the order of scientific collaboration. *Journal of Informetrics*, 16, 101345. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2022.101345>
20. Zhang, C., Feng, X., Li, Y., & Huan, Z. (2024). Scientific collaboration network structure and connectedness among the "Belt and Road" countries. *Journal of Knowledge Economy*. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02078-6>