

# **Red de Investigación y Posgrado en Computación del Instituto Politécnico Nacional**

## **Un estudio del estado del arte**

*Marco Antonio Ramírez Salinas*  
*coordinador*

### **Introducción**

Las instituciones de educación e investigación en el mundo promueven el trabajo colaborativo de sus investigadores para resolver problemas que representan retos de investigación complejos, en un paso más hacia la innovación, también promueven en sus investigadores abordar la solución de problemas desde distintas disciplinas. Las agencias o ministerios de ciencia y tecnología de muchos países favorecen también la investigación colaborativa porque esta puede diversificar el conocimiento, promover la creatividad y la innovación y por lo tanto provocar importantes avances científicos y tecnológicos. Es por eso que una parte creciente en el tiempo de la investigación científica se realiza de forma distribuida y colaborativa, y quizá es la parte que mayor impacto tiene en la sociedad.

La teoría de las redes sociales ha revelado que la estructura de relaciones alrededor de una persona grupo u organización implica que se generen cambios de comportamiento asociados con las conexiones que estos tengan, esta teoría ha sido aplicada en los últimos años para analizar las redes de colaboración científica y de desarrollo tecnológico. Una red social es una colección de personas cada una de las cuales está relacionada con los intereses de un subconjunto de las otras. Dicha red se puede representar como un subconjunto de nodos (vértices) que denotan personas unidas por pares de líneas (bordes) que denotan intereses comunes.

Para este estudio del estado del arte aplicado en la red de computación del IPN se ha analizado las colaboraciones entre investigadores utilizando la producción científica de miembros de la red reportada por **Scopus**, la base de datos de citas de revistas, libros y conferencias, Patentes, Codirecciones tesis de posgrado y Proyectos de investigación, bajo los criterios descritos en la siguiente sección.

### **La estructura de las redes de colaboración científica del IPN**

Estructurar una red de colaboración científica, requiere además del interés de trabajar de forma colaborativa, apegarse a ciertos criterios.

1. Dos científicos son considerados conectados débilmente si tienen intereses de investigación similares (por ejemplo utilizar los mismos *keywords* en sus publicaciones).

2. Dos científicos son considerados medianamente conectados si desarrollan proyectos de investigación de forma conjunta (por ejemplo, participan en proyectos multidisciplinarios o de innovación).
3. Dos científicos son considerados conectados si han dirigido una tesis de posgrado juntos (codirecciones de tesis).
4. Dos científicos son considerados fuertemente conectados si son autores de un artículo científico publicado.

Los grafos de colaboración para este estudio son grafos dirigidos, las aristas son pares ordenados **Autor(1) --->Autor(n)**, en donde **n** representa del segundo autor en adelante. Las aristas o arcos representan la colaboración existente, el origen del arco representa el primer autor y el final del arco representa el autor(n). Un par ordenado puede compartir hasta cuatro arcos, representando los criterios descritos en la sección anterior, y el diámetro del nodo representa la productividad del investigador.

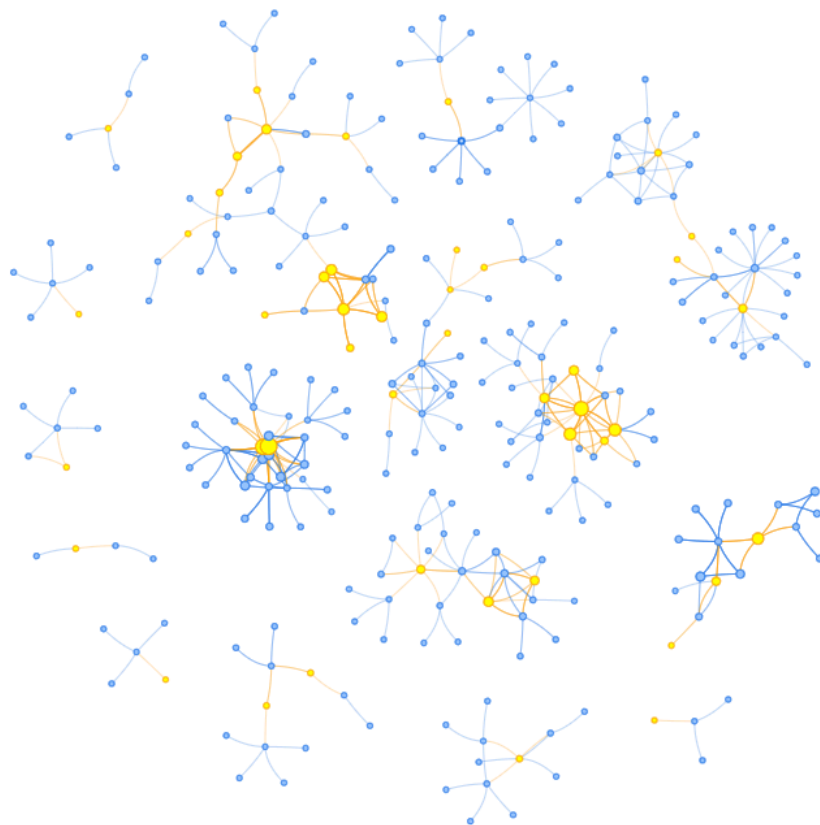


Figura 1. Grafo de colaboraciones en autoría únicamente de artículos científicos  
Nodos amarillos representan investigadores de la red de Computación

Mayor detalle del análisis se puede observar en el siguiente enlace  
<http://148.204.63.250/Colaboraciones/colaboraciones.html>

En los resultados del análisis de Publicaciones científicas, se puede observar como una constante grupos pequeños o clústeres de trabajo, y se observa en los vértices como primeros autores a los estudiantes de posgrado, en la mayoría de los clústeres de colaboración los investigadores que dirigen tesis de posgrado ocupan el lugar de segundo o tercer autor. Es una práctica común, debido a las políticas de graduación que ha implementado la SIP-IPN.

En el rubro codirecciones de tesis de posgrado, se pueden observar pocas codirecciones por investigadores de la red, pero donde se observan estas colaboraciones, se confirma las colaboraciones en publicaciones científicas.

En el rubro de Proyectos de investigación, se puede observar pocos proyectos por año con clústeres pequeños, representando pequeños equipos de colaboración multidisciplinaria aun no consolidados.

En el rubro de Patentes, se puede observar menor productividad y en donde se han podido generar se observan clústeres más grandes, representando una mayor colaboración entre autores por la necesidad de las colaboraciones multidisciplinarias.

De este análisis se puede razonar en varias direcciones, la importancia de las colaboraciones científicas, la necesidad de desarrollar capacidades de colaboración científica y la necesidad de preparar a los directivos de centros de investigación para que colaboren en proyectos que resuelvan retos de problemáticas nacionales.

### **La importancia de la colaboración científica**

Se han descrito en la literatura al menos cuatro razones por las que los investigadores deben colaborar:

1. **La necesidad de atender problemas de investigación complejos y multidisciplinarios.** La colaboración entre investigadores se hace necesaria para atender problemas de investigación complejos que de otra manera no se podrían atender por investigadores de forma individual debido a la alta especialización científica de estos últimos. Es por eso que cuando los investigadores atienden problemas complejos, es necesario juntar conocimientos diversos y obtener un ambiente de colaboración interdisciplinario.
2. **La necesidad de aprendizaje y productividad en investigación.** La colaboración es importante para el desarrollo sostenible en la creación de conocimiento de los investigadores. El conocimiento y la capacidad para generar conocimiento debe ser remplazada o refrescada cada vez más rápido. El aprendizaje y la transferencia de conocimiento son elementos críticos para

los investigadores para evitar la obsolescencia, en un proceso de creación de nuevo conocimiento muy dinámico.

3. **La necesidad de reducir costos de investigación**, en la literatura también se ha encontrado que los investigadores experimentales tienden a colaborar más frecuencia que los teóricos, esto se debe a la inversión en infraestructura experimental requerida, el costo de esto es compartido y la infraestructura es utilizada de forma optimizada.
4. **La necesidad de acompañamiento intelectual**, el objetivo de la investigación científica es expandir los límites del conocimiento. Un investigador tiene una alta especialización y por lo tanto trabaja en este campo de forma aislada. Un individuo puede de forma parcial superar su aislamiento intelectual colaborando con otros formando relaciones de trabajo con estos.

### **Desarrollo de capacidades de investigación científica**

El desarrollo de capacidades de investigación científica y redes de colaboración, es un proceso en el que investigadores, centros de investigación e instituciones buscan mejorar sus habilidades para movilizar a sus estudiantes e investigadores y utilizar los recursos de manera global y sostenible para lograr los objetivos planteados de forma individual. Para desarrollar estas capacidades se deben crear consorcios de investigación e innovación con foros de discusión y promoción de la investigación como talleres y congresos nacionales.

Es lógico que el financiamiento para la investigación de una institución la logran sus investigadores y está vinculada al desempeño global de la institución, por ejemplo, publicaciones JCR, Eficiencia terminal en sus programas de posgrado, Proyectos de interés nacional, Investigación con impacto social, Innovación, Protección de propiedad industrial, Transferencia de tecnología y negocios.

Pero también es cierto que las instituciones de financiamiento de la Ciencia y Tecnología destinan mayores recursos en las áreas que consideran prioritarias. En este sentido las instituciones de investigación deben ajustar sus objetivos para impulsar el desarrollo en estas áreas prioritarias.

### **Desarrollo de capacidades de directivos de CI colaborativos**

Los directivos de centros de investigación (directores y subdirectores) podrían beneficiarse también de una red de colaboración para asegurar el éxito en la administración de sus CI o SEPI con perfiles de investigación colaborativa. Los directores de CI o SEPI con experiencia tienen historias y experiencias que pueden compartir con los demás a cerca de sus éxitos y fracasos desde el punto de vista organizacional y administrativo, generando una guía de mejores prácticas. Las

colaboraciones comienzan al interior de un mismo centro de investigación, entre investigadores, laboratorios y departamentos, cuando estas maduran y se fortalecen se buscan colaboraciones con otros centros, y en una tercera etapa se consolidan internacionalmente.

## Áreas de interés institucional en ciencias de la computación y TIC

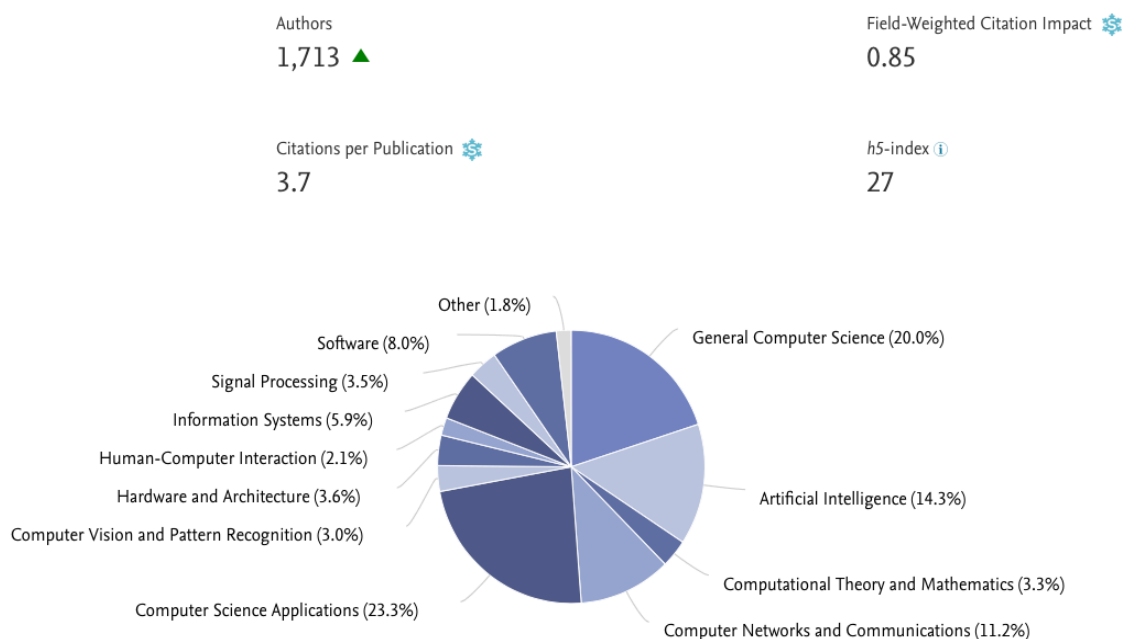


Figura 2. Áreas de interés del IPN

Las áreas consideradas de interés para el IPN obtenidas en las bases de datos de **Scopus** y analizadas con las herramientas de **SciVal** en orden de importancia son: Ciencias de la computación y sus aplicaciones, Inteligencia Artificial, Redes de cómputo y comunicaciones, Ingeniería de software, Sistemas de información, Hardware y Arquitectura, Procesamiento de señales, Teoría de la computación, Visión por computadora, Reconocimiento de patrones y Interacción humano-computadora. Estas son las fortalezas del IPN y con ellas debemos trabajar para definir las iniciativas para desarrollo de las ciencias, las tecnologías y la innovación en ciencias de la computación e ingeniería de cómputo en el IPN.

En el **benchmarking** de las instituciones se puede observar en esta área específica de interés un cambio de rumbo en el IPN a partir de 2013 superando la productividad científica de instituciones prestigiosas como ITESM, UNAM, UAM posicionando al IPN en primer lugar en México.

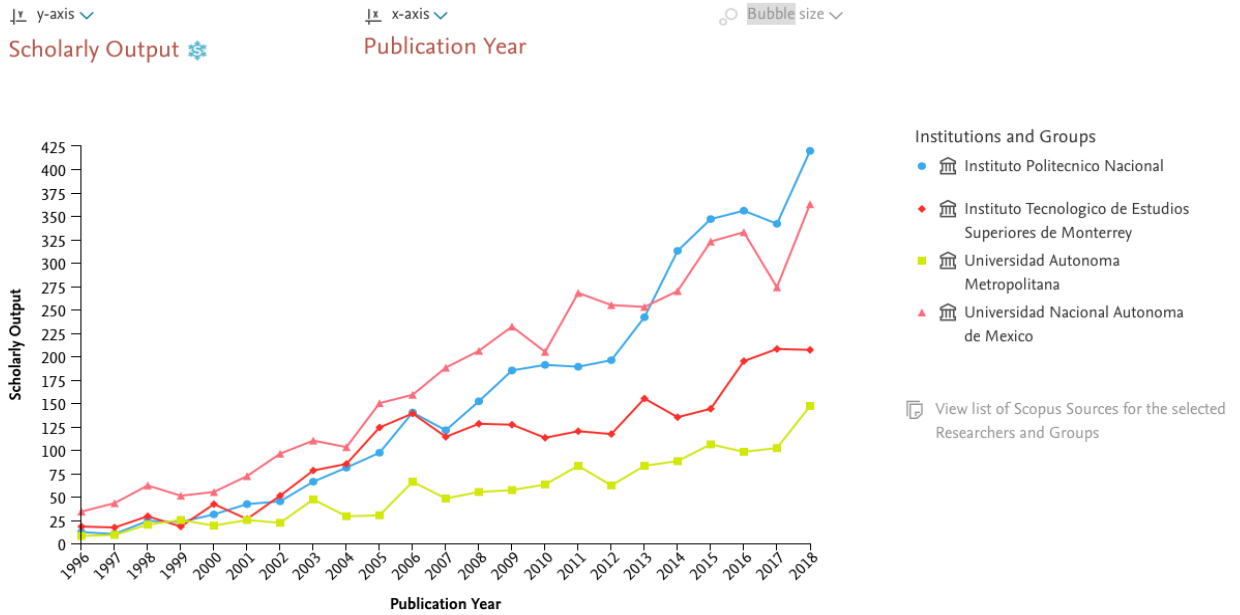


Figura 3. Productividad científica de instituciones nacionales: IPN, ITESM, UNAM, UAM.

Sin embargo en el plano internacional en esta área específica de interés esta debajo de Universidad Estadual de Campinas, Universidad de Sao Paulo, Universidad Politécnica de Cataluña y el Instituto tecnológico de Massachusetts.

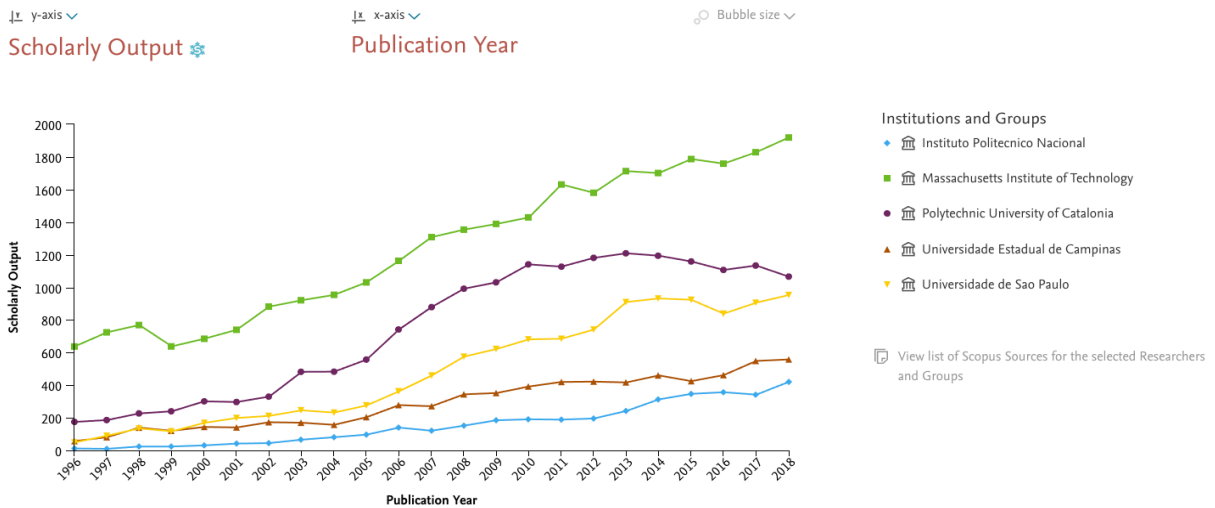
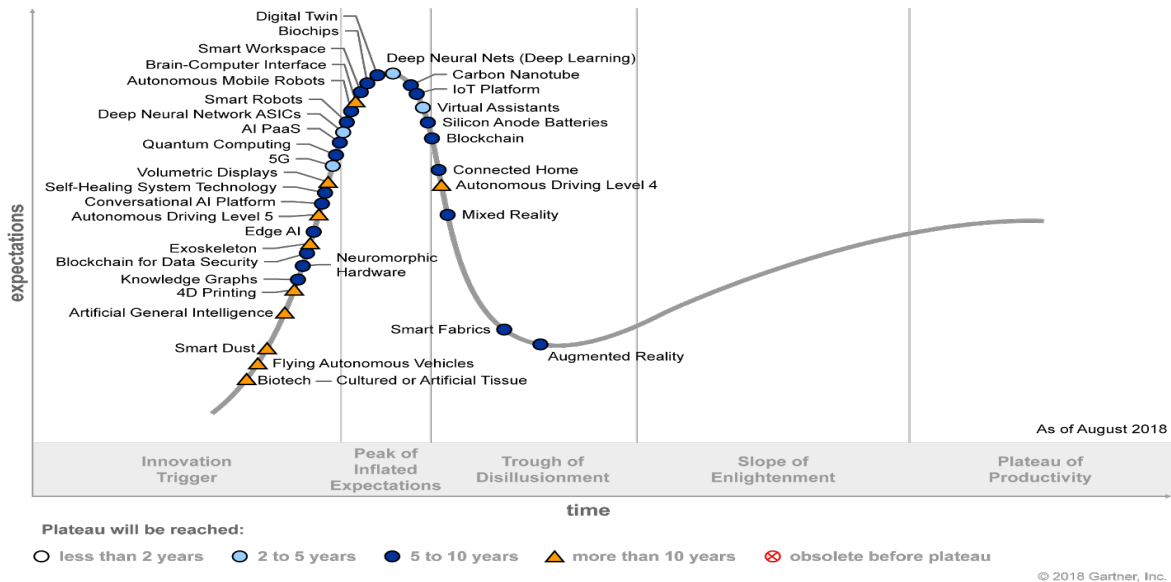


Figura 4 . Productividad científica de instituciones internacionales: MIT, UPC, UniCAMP, USP, IPN.

## Áreas de interés científico internacional en ciencias de la computación y TIC

Las tecnologías emergentes de los últimos años (2017-2018) Reporte Gartner, revelaron tres grandes tendencias en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a nivel mundial, las cuales crean nuevas experiencias, con inteligencia superior y con plataformas que permiten a las organizaciones conectarse en nuevos ecosistemas de negocio, estas tendencias son:



**IA en todo:** la Inteligencia Artificial (IA) puede ser la clase de tecnología más disruptiva sobre los próximos 10 años, por su potencia computacional radical, por su aplicación en grandes cantidades de datos y por sus avances en redes neuronales profundas. Esto apoyará a las organizaciones con tecnologías de IA a aprovechar los datos de la misma organización y de otras organizaciones para extraer nuevo conocimiento, con esto adaptarse a nuevas situaciones y resolver problemas complejos no resueltos. Las empresas que buscan soportarse de estas tecnologías deberán considerar: IA, aprendizaje profundo, computación cognitiva, lenguaje natural, aprendizaje automático, interfaces de usuario por habla, vehículos autónomos (aéreos, terrestres y submarinos), robots inteligentes, espacios de trabajo inteligentes.

**Experiencias Inmersivas:** las tecnologías son y deben continuar más centradas en las actividades del ser humano, como punto de partida para que estas puedan introducirse transparentemente en la actividad diaria entre las personas, los negocios y las cosas. Esta relación podría ser mucho más vinculante en la medida en que las tecnologías sean más adaptables, contextual y fluida dentro de los espacios de trabajo, en el hogar y en la interacción entre empresas y personas. Las empresas que buscan soportarse de estas tecnologías deberán considerar: impresión 4D, realidad

aumentada, interfaz cerebro-computadora, hogar conectado, humanos con habilidades aumentadas, nanoelectrónica, realidad virtual y pantallas volumétricas, dispositivos médicos para cuidado de la salud.

**Sistemas de cómputo de alto desempeño y bajo consumo de energía.** Las tecnologías emergentes se soportan en sistemas de cómputo modernos de alto desempeño y de bajo consumo de energía, estos a su vez en núcleos de propiedad intelectual (IP Cores) de Dispositivos semiconductores y estos últimos varían ampliamente de acuerdo a la tecnología de destino, chips para unidades centrales de procesamiento (CPU): son útiles para la construcción de computadoras de propósito general, dispositivos móviles, computadoras de vehículos autónomos (aéreos, terrestres y submarinos), robots inteligentes, espacios de trabajo inteligentes, Interfaz cerebro-computadora, Hogar conectado y IoT. Por otra parte los CPU neuromórficos: son aquellos inspirados por arquitecturas neurobiológicas simples pero masivamente paralelas con alta interconectividad, se utiliza para aplicaciones de IA, interfaz cerebro-computadora y CPU para Edge computing que utiliza técnicas de IA embebidas en plataformas de IoT para razonamiento probabilístico como aprendizaje de máquina, redes neuronales profundas; Lógica computacional utiliza técnicas como lógica difusa y cómputo basado en reglas; optimización en donde se hace uso de técnicas de razonamiento basado en restricciones y técnicas basadas en agentes.

**Plataformas digitales:** las tecnologías emergentes requieren revolucionar las plataformas de hardware y software habilitadoras para proporcionar el volumen de datos necesario, el poder de cómputo de las máquinas, ecosistemas que habiliten el cómputo ubicuo, nuevos modelos de negocios basados en plataformas y explotar algoritmos para generar valor. Este cambio de infraestructura a plataformas habilitadoras de ecosistemas está sentando las bases de modelos de negocios completamente nuevos que forman el puente entre humanos y tecnología. Las tecnologías clave que permiten estas plataformas son: 5G, Digital twin, Edge computing, Blockchain, IoT, Hardware neuromórfico, Computación cuántica, PaaS (Plataformas como un Servidor) sin servidor y Ciberseguridad.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

El desarrollo de la capacidad de investigación en el IPN es clave para la supervivencia de los centros de investigación CI y las Secciones de estudios de posgrado e investigación SEPI que existen en las escuelas de nivel superior, así como para el logro de los objetivos y misión para los que fueron creados.

Una realidad al interior del IPN, es que a los directivos de los CI y SEPI les preocupa tener muy pocos investigadores quienes tengan el conocimiento y el perfil para liderar el diseño, la transferencia y la divulgación de investigación de alta calidad y de impacto social. En los CI y SEPI del IPN aún se pueden observar fuertes colaboraciones



de investigadores con los grupos de investigación en donde realizaron sus estudios de posgrado en algunos casos en el extranjero, lo cual de ninguna manera es malo. El problema radica cuando se trata de la única línea de colaboración y cuando esta resulta ser de carácter individual. También es importante hacer notar que la carrera por las becas SNI, EDI, COFAA, los investigadores del IPN se han especializado en publicar sus resultados en revistas internacionales JCR que poco aportan a las problemáticas nacionales.

Para lograr desarrollar el conocimiento y perfil para liderar el diseño, la transferencia y la divulgación de investigación de alta calidad y de impacto social, se deberán modificar aquellas políticas internas que promueven el desarrollo de investigadores en lo aparentemente individual, por políticas que promuevan la colaboración científica de grupos al interior del IPN.

En este sentido es muy importante generar los espacios de discusión adecuados a las temáticas de interés nacional, como congresos y revistas nacionales, y darles el valor adecuado a las publicaciones en estos foros. Es necesario promover la participación en los congresos y las publicaciones en las revistas mexicanas el diseño, la transferencia y la divulgación de investigación de alta calidad y de impacto social nacional.

### **Plan de acción de la red de computación**

El modelo para promover la colaboración en la red de computación es el desarrollo de la reunión anual en formato de *Workshop* mediante la creación de un comité de organización, un comité científico, un comité de promoción del posgrado, un comité interdisciplinario y un comité de divulgación.

El **comité científico** es responsable de definir las temáticas de talleres que se impartirán en la reunión anual, publicar las convocatorias de proyectos de investigación al interior de la red, mientras el **comité interdisciplinario**, es responsable de buscar alianzas con las otras redes de investigación para potenciar las colaboraciones.

Un **comité de promoción del posgrado**, quien promoverá investigación multidisciplinaria y colaborativa de todos los posgrados en materia de TIC del IPN.

Un **comité de divulgación** desarrollará y mantendrá un sitio web para red, para mostrar el desarrollo de la misma. Así mismo será responsable de integrar el reporte anual, de las actividades de la red.

La Red de computación auspiciará la asesoría para la organización del Congreso Estudiantil CORE a partir del año 2020, la visión es transformarlo en el congreso de los programas de posgrado de las distintas áreas de TIC del IPN, desde luego

atendiendo aquellas áreas identificadas como prioritarias para el desarrollo de investigación de alta calidad y de impacto social nacional.

## **Bibliografía**

1. Jun Song Huang, PhD, *Building Research Collaboration Networks - An Interpersonal Perspective for Research Capacity Building*, *The Journal of Research Administration*, 89-112, (45)2, 2015.
2. Nicholas Berente, James Howison, *Research Collaboration Network for Managing Collaborative Research Centers*, Project NSF OCI RCN Award #1148996.
3. Informe general del estado de la ciencia, la tecnología y la innovación: México 2012. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2013.
4. J. A. Lewis, *Building an information technology industry in China, national strategy, global markets: a report of the technology and public policy program center for strategic and international studies*. Center for Strategic and International Studies, 2007.
5. Scopus, Base de Datos de Autores investigadores del IPN (2015, 2016, 2017, 2018) con publicaciones en revistas indexadas, utilizada para análisis de colaboraciones.
6. Top 10 Strategic Technology Trends for 2019: A Gartner Trend Insight Report.
7. Gartner, *Hype Cycle for Emerging Technologies*, 2018.