

Las TIC como ciencia emergente y herramienta para el desarrollo de la ciencia en México

Sergio Carrera Riva Palacio y Juan Carlos Téllez Mosqueda¹

Número 3

Mayo 2013

¹ Los autores forman parte del Fondo de Información y Documentación para la Industria Infotec.

Los cuadernos de trabajo presentan resultados de investigaciones preliminares, que ofrecen algún tipo de información o interpretación relevante dentro de una problemática específica y permiten que los autores reciban comentarios sobre el texto. Su propósito es contribuir al debate informando sobre diversos temas relacionados con las tecnologías de información y comunicación, campo de atención del INFOTEC.

Las opiniones vertidas en el documento, el estilo y la redacción son de exclusiva responsabilidad de sus autores. Los comentarios sobre el contenido deberán hacerse llegar directamente a los mismos.

® D.R. Fondo de Información y Documentación para la Industria INFOTEC
Av. San Fernando 37, Col. Toriello Guerra, Delegación Tlalpan
CP 14050, México, DF
Tel. (55) 5624 2800
www.infotec.com.mx

Contenido

	Introducción	4
1.	Importancia de las TIC en la Ciencia	4
2.	Problemática General	5
3.	Diferentes Problemas	8
	• Incentivos Insuficientes a la investigación	8
	• Intérpretes y Colaboración	8
	• Ámbitos y mercados desvinculados	9
	• Crisis de Software	9
	• Avances Acelerados de la Tecnología	9
	• Innovación y enfoque de mercado	10
	• Apropiamiento	10
	• Soluciones Tecnológicas y sus costos	10
4.	Propuestas	11
	4.1 Papel del sector Conacyt	11
	4.2 Propuestas para la formación e Investigación	13

Introducción

Por sí mismo el nombre de este foro, *Hacia dónde va la ciencia en México*, en donde se inserta esta mesa de perspectiva tecnológica, es un gran reto. No sólo porque hacer prospectiva encierra grandes dificultades, sino además porque entramos en campos que en la ciencia normalmente no se abordan por razones metodológicas; y porque determinar “hacia dónde de ir” en aspectos complejos, necesariamente nos lleva a cuestiones normativas del deber ser y positivos a donde se puede ir. Por supuesto, hay que estudiar las tendencias para comenzar a pensar y planear una invención antes de que la tecnología permita que esté disponible en el mercado.

Mi ponencia se encuadra en una visión más de orden estratégico para ver a las tecnologías de información y comunicación (TIC) como herramienta de orden transversal de apoyo para el resto de las ciencias; y al mismo tiempo, como una ciencia emergente que requiere cumplir obligaciones similares al resto de las ciencias, como explicitar los conceptos en que se basa, y también tener algunos derechos, estudiarse a sí misma, y convertirse plenamente en un campo de estudio.

Este aspecto va en línea con el nombre de la mesa: “La investigación en informática para el futuro de México” y su objetivo: plantear algunas áreas de oportunidad para la investigación y formación de recursos humanos. Después regresaré al concepto de informática, que requiere un par de precisiones.

1. Importancia de las TIC en la ciencia

Desde que Norbert Wiener propuso en 1949 el concepto de cibernética y Claude Shannon desarrollara la teoría matemática de la comunicación, creció la importancia del uso de tecnologías en la ciencia. Por cierto, como muchos saben Arturo Rosenblueth y Wiener identificaron la posibilidad de la aplicación de las matemáticas y la teoría de la comunicación en la fisiología desde esa época.

Ambos “creían que los campos más fructíferos para el desarrollo científico eran aquéllos que habían quedado desatendidos como tierra de nadie entre las distintas especialidades.”² Se requería que cada especialista tuviera un profundo conocimiento en su campo y una experiencia práctica en el otro campo de conocimiento.

² Quintanilla, Susana (2002), “Arturo Rosenblueth y Norbert Wiener: dos científicos en la historiografía de la educación contemporánea”, Revista Mexicana de Investigación Educativa,

Podríamos decir que parte del desarrollo de las TIC ha obedecido a que se convirtió en una tecnología de propósito general, como lo fue el vapor y la electricidad. Jovanovic y Rousseau han mostrado que estas tecnologías fueron claves para la revolución de los procesos productivos.³

Esta sinergia ha permitido difuminar las fronteras entre distintas disciplinas, para crear nuevos campos de conocimiento transdisciplinarios, nuevas especialidades y generar nuevos conocimientos de frontera, como: biogenética, biónica, derecho informático, economía de la información, nanotecnología, robótica, geomática, tecnologías en la educación, informática forense y múltiples aplicaciones en diversas ciencias.

No obstante la importancia de las TIC, se sigue considerando como una herramienta técnica. Tal vez ya requiere ocupar en México un lugar dentro de las disciplinas científicas heredadas desde la ilustración. Una preocupación que se ha tenido en otras sociedades, para resolver problemas similares, ha sido un proceso de revisión de la currícula cada vez de forma más continua de las Ciencias de Computación. Por ejemplo, en Estados Unidos estuvo al escrutinio la propuesta de programa 2013 desde 2011, donde el papel que desempeñaron la Association for Computing Machinery (ACM) y el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) fue fundamental para impulsar su revisión.

2. Problemática general

El acelerado desarrollo tecnológico, producto de la convergencia de varios campos (electrónica, materiales, sistemas, comunicación) nos ha mostrado sus grandes beneficios, sobretodo para aumentar la productividad y el bienestar. Un ejemplo ha sido el desarrollo de dispositivos móviles que representan una gran integración de diferentes aplicaciones, y que el mercado y la población, sobre todo joven, las han aceptado por sus facilidades de uso al ser intuitivas.

Pero también hay que estar conscientes que esta convergencia tecnológica está transformando aceleradamente la vida cotidiana y de la ciencia con diversas implicaciones. Déjenme señalar algunos ejemplos, en relación con el tema que nos ocupa.

Los procesos de formación tradicionales no se transforman a la velocidad de los cambios tecnológicos. Existen varios ejemplos de nuevas carreras que se trataron de estructurar a partir de otras para dar respuesta a las nuevas necesidades, en especial a los requerimientos de los sectores productivos de tecnología de punta. Sin embargo, esto no es tan sencillo. La diversidad de nombres

³ <http://www.nyu.edu/econ/user/jovanovi/JovRousseauGPT.pdf>

de las nuevas carreras no necesariamente reflejan los contenidos estudiados y la información que requieren los empresarios para sus procesos de selección de personal.

También existen procesos de exclusión, por ejemplo, en la Maestría de Ingeniería Biomédica, los egresados de las carreras originales de Ingeniería biomédica repudian a los electrónicos que ingresan. Los primeros se ven asimismo como médicos y los segundos no comprenden cómo esos “cuasi médicos” pueden construir los dispositivos que se requieren para la Medicina. Por ende, los primeros no aceptan a los recién llegados a la manada, lo que me recuerda la crítica de las manadas científicas que realizó Ray Kurzweil.

Pero en el plano general del uso de estas herramientas en la vida cotidiana, o más bien en las aplicaciones de esta ciencia emergente, existen muchos campos de actividad en donde aún no se cuenta con sistemas de cómputo para operar, aún cuando en otros ya se están aprovechando por ejemplo las bases de datos no estructuradas. En varios campos se utilizan equipos dedicados de gran tecnología pero sin estándares interoperables, sus avances proporcionan una ventaja comercial casi monopólica para gestionar el *lock in*, pero dificultan la obtención y el intercambio de información.

La problemática de los avances tecnológicos también se aplica al internet. Sin acceso y suficiente banda ancha disponible, las personas y las localidades alejadas a las grandes urbes quedarán en desventaja. El grado de penetración del uso del Internet en diferentes países, nos muestra que existen distintas velocidades de adopción que propician diferentes niveles de competitividad. En el caso de México, los avances en la materia son notables, pero insuficientes para converger al menos al promedio de países de la OCDE.

Las consecuencias de generación de la información en la era del Internet también requieren ser estudiadas para evitar aspectos nocivos de este bien intangible. De acuerdo con algunos trabajos al interior de Infotec se identifican seis consecuencias: aumento de la brecha social a pesar de la convergencia tecnológica; transformación cultural; la confiabilidad y credibilidad de las redes sociales; viabilidad económica de las inversiones en tecnología; costo de la información; y crecimiento de la demanda de energía de los centros de datos.⁴ Hay que estar conscientes de la gestión del conocimiento y las TIC.

Respecto al desarrollo del concepto de computación, se requiere considerar que existen otros conceptos que permiten denominar el campo disciplinar de estudio y profesional, como informática,

⁴Tellez Mosqueda, Juan Carlos (2012), “¿Se alcanzará la plena información con el Internet?”, México, en edición. Este trabajo forma parte de la memoria del Seminario Estrategias y metodología para la innovación tecnológica en Municipios. Las diferentes vías al gobierno digital, celebrado el 29 de octubre de 2012 en Infotec.

y la tecnología de la información y la comunicación. Permítanme parafrasear a un especialista del tema.⁵

- El avance vertiginoso de las TIC requiere una reflexión epistemológica como un posible enclave disciplinar, sobre todo por la diversidad de campos de conocimiento que han confluído para favorecer su desarrollo tanto de ciencias duras como ciencias sociales.
- No existe un consenso pleno sobre la forma en que puede denominarse por las diferentes connotaciones de las disciplinas en las que se originó. La informática, si se toma el antecedente soviético, que ya no es tan reconocido, sería sinónimo de la ciencia de la información. Mientras que en la tendencia francesa, con mayor influencia a los países hispanos, el sinónimo es la computación, pero con una connotación técnica.
- Otra denominación es la de ciencia de la computación que se identifica de forma estrecha con el aspecto tecnológico de las TIC, y que ha sido aceptada en las escuelas de ingeniería o de ciencias duras. Sin embargo, los estudiosos de las TIC cuyos antecedentes sean de las ciencias sociales podrían ser mal llamados computólogos, como extrapolación de los politólogos, pero su aplicación seguiría siendo técnica y no social. Otra más es la ciencia de la información, que es una denominación que se ha propuesto como alternativa para el estudio de las TIC desde las ciencias sociales. La limitante de dicho término es que también es usado como sinónimo de ciencias de la comunicación y como referencia al estudio de la información, que se limita al estudio de las bibliotecas y archivos, pero no a la información.
- Una opción es el de ciencia y tecnología de la información que se planteó desde la década de 1960 para hacer referencia al estudio de la información, desde la noción de ciencia y la tecnológica. Esta denominación busca conciliar las diversas maneras de estudiar y desarrollar aplicaciones con base en las TIC, que abarcan un amplio abanico disciplinario. Sin duda, al contar con teorías, comunidad epistémica, práctica, tecnología y metodología será más fácil construir programas de investigación como sugiere Lakatos.

Cuando se dejan más claros los conceptos del campo de estudio, es más fácil profundizar en las disciplina y lograr contribuciones que ensanchen el entendimiento de la misma para mejorar la comunicación, incluso con otras ciencias.

3. Diferentes problemas

⁵Para mayor detalle véase. **Morales, Valentino** (2008), *La bibliotecología y estudios de la información, Análisis histórico-conceptual*, México, El Colegio de México.

Desde mi óptica identifico varias áreas de oportunidad en donde se debe avanzar la investigación y formación de especialistas en esta materia. Trataré de ser breve y enmarcarlas de manera temática:

▪ **Incentivos insuficientes a la investigación**

La creación de talento para la investigación requiere de alinear expectativas y costos de oportunidad para incentivar que los jóvenes encuentren una realización de vida en la investigación científica, a fin de cultivar desde temprana edad sus vocaciones para potenciar la curiosidad científica y el desarrollo de conocimientos aplicados en las distintas localidades del país.

▪ **Intérpretes y colaboración**

Por definición, la investigación exige especialización y focalización. En el pasado pudo hacerse en disciplinas singulares, pero hoy es común identificar varios procesos de “invasión de carriles” disciplinarios, que han generado buenos resultados y han sido de mucha utilidad, pero también han generado nuevos problemas para reproducir el conocimiento y sobre todo para entenderse entre los distintos campos de conocimiento.

Se puede hablar incluso de varios enfoques o visiones multidisciplinarias, interdisciplinarias o transdisciplinarias, y no digamos las habilidades que se requieren para trabajar en equipo. Una de las peticiones más recurrentes de las empresas, cuando se trabaja en el diseño curricular de las carreras relacionadas con TIC, es que los egresados puedan desarrollar suficientes habilidades suaves (soft skill) y por supuesto que sepan escribir y hablar dos idiomas.

Se requieren de más intérpretes entre las disciplinas para construir grandes soluciones tecnológicas y expandir el campo de conocimiento.

▪ **Ámbitos y mercados desvinculados**

Desde el punto de vista sistémico existen varios ámbitos y mercados desvinculados que requieren ser estudiados y analizados para mejorar su alineamiento, y evitar los desequilibrios que hoy existen en ámbito vocacional; ámbito educativo; mercado de trabajo; mercado de bienes y servicios, y ámbito regional. Cada uno responde a lógicas diferentes y caminan con dinámicas distintas.

Se supone que para crear una nueva carrera profesional se requiere de estudios del mercado de trabajo para analizar la oferta y demanda de la profesión. Sin embargo, la problemática no se reduce a este mercado simplemente. Debemos de incorporar el análisis de los diferentes ámbitos y mercados para poder lograr una mejor vinculación con el mundo productivo y social en las diferentes regiones del país. Cada uno tiene su oferta y demanda, que al trasladarse de una esfera a otra no necesariamente coincide. Y si consideramos el ámbito de la investigación, el problema se vuelve más complejo de solucionar.

Cuando nos referimos a los motores y/o motivaciones de la investigación, está claro que puede ser la simple curiosidad, las preferencias y capacidades, las dolencias nacionales, el mercado mismo y las áreas de interés estratégico. Estos son algunos elementos para definir hacia dónde puede ir la investigación de una ciencia emergente.

▪ **Crisis del software**

Este concepto ya tiene por lo menos más de 30 años, y está relacionado con la calidad con la que se conforma y se implementan los sistemas de cómputo. La gran visión de arquitectura para observar el bosque y al mismo tiempo trabajar con rigurosidad para cuidar los detalles, que permitan la identificación plena de las especificaciones de los requerimientos para su traducción a código, han generado múltiples metodologías. Muchas de éstas han generado diferentes estándares, mejores prácticas, e incluso diferentes tipos de certificación de marca o comerciales, que los estudiantes cuando egresan de las escuelas no necesariamente han incorporado en su formación, con un costo social adicional que debe ser cubierto, ya sea por las empresas o ellos mismos invertir más tiempo en una formación adicional que demanda el mercado.

Las vastas áreas de interés y los diferentes dominios que involucran a las ciencias y tecnologías de información generan no solo un campo fértil, también retos de comunicación que no se solucionan solo con el uso de lenguajes complejos sino con el lenguaje natural. No es casualidad que varias metodologías y herramientas den tanta importancia a la identificación de requerimientos de los usuarios y clientes, y al mismo tiempo, a la tipificación de campos de aplicación de diferentes dominios. Los programas tradicionales no generan de manera natural los arquitectos de software que tanto se requieren. Y los que por sus capacidades naturales resaltan, más bien se dedican tempranamente a sus propios intereses para desarrollar empresas.

▪ **Avances acelerados de la tecnología**

El progreso de la tecnología no hubiera sido posible sin la conjunción de varios avances de las ciencias (semiconductores, desarrollo de materiales, conectividad digital, desarrollo del internet) con la habilidad, disciplina y visión para su integración. Nos encontramos en círculos virtuosos que generan una gran masa crítica sinérgica.

Estos avances motivan para seguir adelante, pero es necesario tener claro el ciclo de vida de las construcciones tecnológicas. Se supone que el motor que mueve los requerimientos y avances tecnológicos es la demanda del mercado. Sin embargo, algunas novedades tecnológicas tienen un carácter más de oferta y de creación de necesidades, por lo que es necesario entender y propiciar los criterios de selección para una adecuada gestión tecnológica que permita administrar el proceso de

cambio, porque el acceso es caro, y su vigencia puede ser rápida, con el asociado costo de mantenimiento que se requiere.

▪ **Innovación y enfoque de mercado**

Con la investigación básica se obtienen conocimientos de frontera o de raíz, y con éstos generalmente no se tiene una aplicación productiva inicial. Por suerte, es consustancial al proceso de investigación, la solución de problemas o búsqueda de respuestas. La investigación aplicada permite el desarrollo tecnológico. Pero sin ella, se genera una dependencia a ésta, y nos volvemos en compradores y seguidores de tendencias tecnológicas.

Llama la atención que del total de los fondos de innovación y sectoriales, aproximadamente el 12% se asigna a proyectos que ofrecen respuesta a los problemas planteados a partir del uso de las TIC.

▪ **Apropiamiento**

Una clave para que se democratice el acceso y uso de las TIC es que los ciudadanos se apropien de las mismas. En el caso del gobierno electrónico, es que ellos se vuelvan los vigilantes a través de su uso, y con sus nuevas demandas ayuden a mejorar los servicios.

Sin duda, los avances en las TIC generan mayor bienestar a los ciudadanos y una mayor competitividad a las organizaciones y países. Proporcionan una mayor eficiencia a los procesos, pero también pueden generar vasta acumulación de información, que incluso puede utilizarse para que los gobiernos hagan de sus prácticas cotidianas procesos permanentes de transparencia. El enfoque de concentración de información se ha dirigido a una masa indigerible de justificación programática de los procesos administrativos y no a generar información estructurada y de fácil acceso a través de buscadores semánticos, que ayuden a procesos sustantivos, como los procesos de investigación.

▪ **Soluciones tecnológicas y sus costos**

Las soluciones tecnológicas representan diferentes maneras de vencer múltiples retos: restricción de tiempo, costo y financiamiento, madurez de procesos, regulaciones, barreras culturales, apoderamiento tecnológico ante la falta de capacidades. Pero en las soluciones de las tecnologías de la información existen diversos dilemas tecnológicos, que requieren ser investigados para reducir costos de acceso.

Déjenme comentar uno: el *outsourcing* y el desarrollo de capacidades internas. Se argumenta que el primero tiene menores tiempos de implementación, pero con altos costos de entrada y rentas tecnológicas versus el segundo con mayores tiempos de implementación al desarrollar capacidades

internas, con costos permanentes para su mantenimiento, que puede profundizar en la especificidad de requerimientos, sin desarrollar necesariamente prácticas estandarizadas para sustituir la rotación natural del personal.

Los desarrollos ad hoc o a la medida son en principio más elevados en su costo, pero también los procesos de instrumentación de soluciones genéricas implican consumo de tiempo de las personas que están dedicadas a la operación de los procesos, y tiempo para adecuarse a ello por ser poco flexibles. Es aquí cuando se introduce el concepto de madurez de las organizaciones, que se desarrolló en la Universidad de Carnegie Mellon. La explicación que nos proporcionan es sencilla: no se pueden sistematizar organizaciones fácilmente si no son maduras organizacionalmente.

Por eso, es muy importante la revelación de los costos. Entre más explícitos sean los costos de acceso a la tecnología y su entrada tenga menos restricciones, los usuarios podrán aquilatar de mejor manera el retorno de sus inversiones, ya que los beneficios son más evidentes, sobre todo en productividad. Es decir, lograr que el poder esté en los usuarios y no en los tecnólogos y menos en las empresas monopólicas.

Este es el tipo de dilemas que deben estudiarse en la intersección de la informática y la administración como ciencias.

4. Propuestas

Las propuestas para mejorar el proceso de investigación y formación las veo en dos grandes planos, uno de orden general e institucional, otro de manera particular del nuevo campo de estudio que se propone.

4.1 Papel del sector Conacyt

Si bien el Conacyt no es toda la ciencia en México, es uno de los actores prominentes que institucionaliza una buena parte de la coordinación y orientación de las instituciones de investigación. Es fundamental su papel en la administración de los incentivos y apoyos para los científicos y para los estudiantes que buscan ingresar al mundo de generación de conocimientos de frontera, donde las certezas son escasas y las incertidumbres son abundantes. Pero sin duda son un segmento privilegiado de la población como lo ha señalado alguna vez Miguel José Yacamán. Sólo hay que recordar que por definición, la investigación es especialización y focalización de esfuerzos.

Las orientaciones del Conacyt, a través de sus acciones, son decisivas para influir positivamente en señalar el norte hacia donde debe ir el desarrollo de la ciencia en nuestro país. En especial, su apoyo puede contribuir a los procesos de aplicación de la ciencia para el desarrollo de tecnologías. La investigación aplicada permite el desarrollo tecnológico y disminuye la dependencia externa, es

decir, evita que sólo seamos compradores y seguidores de tendencias, y al mismo tiempo apoya la competitividad de las empresas, organizaciones y personas del país.

La transformación institucional del Conacyt, que se delinea es una excelente oportunidad para proyectar el tipo de institución que se requiere para facilitar el desarrollo y acumulación del talento humano capaz de hacer ciencia e innovación, útil para resolver nuestros grandes retos y generar riqueza. Pero para cambiar con sentido, se requiere reconocer dónde estamos situados y hacia donde vamos.

El Conacyt se ha convertido en una entidad parecida a la banca de desarrollo. La disponibilidad de recursos atraen la atención y ocupan la operación fundamental de su quehacer cotidiano. Sus principales programas están dominados por la agenda de distribución de fondos (Sistema Nacional de Investigadores, becas, fondos de ciencia y tecnología). No obstante, este gran papel no ha encontrado un diálogo constructivo entre las grandes dependencias globalizadoras del país, que por mandato están concentradas en equilibrio presupuestal y la rendición de cuentas con esquemas tradicionales.

La política científica y tecnológica, y por ende su agenda, no está orientada a atender los grandes retos nacionales. Estos temas son atendidos en segundo término. Estamos más ocupados en la procuración de recursos para atender las necesidades de subsistencia de proyectos y rendición burocrática de cuentas, que en el desarrollo del talento y en la concentración de soluciones de los grandes problemas nacionales. Esto distrae el uso de nuestros activos y merma el potencial de nuestros científicos y tecnólogos.

Al día de hoy no están a la vista de la sociedad los grandes proyectos que nuestro sector persigue, esos que contribuyan a alinear el esfuerzo y obtener grandes saltos en el conocimiento y la innovación, esos que harían a los jóvenes imaginar su futuro como personas exitosas, reconocidas y de amplia solvencia gracias al desarrollo de su talento científico y creativo.

Esta situación considero que proviene de la misma Ley de Ciencia y Tecnología que en términos generales prevé tres grandes objetos: financieros, coordinación y vinculación, y desarrollo y fomento.

Principales objetos y macrofunciones de la Ley de Ciencia y Tecnología.

<i>Financieros</i>	<i>Coordinación y vinculación</i>	<i>Desarrollo y fomento</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regular y determinar los instrumentos de apoyo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer los mecanismos de coordinación para la definición de la política pública. ▪ Vinculación entre la comunidad científica y académica y los sectores productivos y de servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinar las bases de apoyo para realizar la investigación científica y tecnológica y para el fortalecimiento de la capacidad institucional. ▪ Fomentar el desarrollo tecnológico y de innovación de las empresas en México en condiciones de generar nuevas tecnologías e incrementar su competitividad.

Por esta razones, vemos cuatro facetas del Conacyt hacia delante que deben ser consideradas en su proceso de reingeniería funcional

- **Prospectivo**, como guía de grandes orientaciones.
- **Reflexivo**, a manera de *Think Tank*.
- **Articulador de esfuerzos**, con un papel renovado de la vinculación.
- **Financiero**, que comunique la rentabilidad social y productividad que implica el canalizar recursos escasos a la Ciencia y Tecnología, que explicita los criterios de asignación, que mejore los controles administrativos para recibir fondos y que facilite la rendición de cuentas efectiva.

4.2 Propuestas para la formación y la investigación

En el caso de la formación, me gustaría señalar algunas. Es importante realizar una revisión de todos los planes de estudios de las múltiples carreras que existen en relación al tema que nos ocupa para homologar y especificar los diferentes campos de estudio. Es conveniente revisar la pertinencia y actualización de los programas, pero también la forma de nominarlos. No se trata únicamente de crear nuevas carreras o reagrupar las existentes, se requiere distinguir claramente las bases de

formación y las distintas especialidades desde los estudios de licenciatura. Clarificar señales al mercado de trabajo para distinguir los diferentes programas relacionados con las tecnologías de Información y comunicaciones. Tal vez realizar una iniciativa nacional para efectuar una revisión curricular, similar a la que se lleva a cabo cada vez con mayor periodicidad en Estados Unidos, donde se reconocen sus deficiencias claramente y los retos.

El crecimiento de la matrícula de las carreras en torno a las TIC ha sido del 1.8% durante el periodo de 2001 al 2009, pasando de 177.1 mil alumnos a 215.1 mil alumnos. Se estima que la eficiencia terminal nacional en ese periodo osciló entre el 51% y 57% conforme a la información del Inegi y un trabajo reciente que se elaboró en el Infotec.⁶ El número de egresados osciló alrededor de 30 mil, pero no en las especialidades que requiere el mercado de trabajo, por ejemplo en sistemas embebidos. No obstante que las carreras de licenciatura en Computación y Sistemas se encuentran entre las más populares de la matrícula, algunos expertos señalan que existe una carencia de profesionistas altamente capacitados, lo que apunta al factor de la calidad en su formación.⁷ Agregaría también a su pertinencia.

No hay que perder de vista que no se puede formar personas únicamente para demanda puntuales y coyunturales de mercado. Las personas deben contar con el bagaje necesario para insertarse al mercado de trabajo, pero al mismo tiempo deben contar con la habilidad de aprender a aprender para enfrentar los cambios bruscos de ajustes que de vez en cuando realizan los mercados.

De acuerdo con una revisión realizada por uno de nuestros investigadores invitados de posdoctorado, actualmente existen en México 133 programas de maestrías (74) y doctorados (59) en computación registrados en el PNPC.⁸ Utilizando esta información dispersa bajo un criterio de algoritmos de agrupamiento (*clustering*), se encontró que entre los principales temas de investigación que se abordan destacan por su interés los siguientes: sistemas, desarrollo, software, algoritmos, redes, aplicaciones, inteligencia artificial, control, datos, diseño.

⁶Tellez Mosqueda, Juan Carlos (2012), *Estado de la formación en sistemas embebidos, ¿Se pueden crear sin respaldo educativo y sin vinculación empresarial?*, México, Cuadernos de Trabajo Infotec.

⁷Estrada, Ricardo (2011), *Profesionistas en vilo*, México, Cidac, pp. 74 y 79.

⁸Estrada Esquivel, Hugo (2013), *Estudio sobre los temas de investigación en computación que se abordan en México y en el plano internacional*, México, en edición, Cuadernos de Trabajo Infotec.



Si bien el principal interés de la investigación es en torno al desarrollo de sistemas, se percibe un relativo envejecimiento temático. Realizando una reagrupación de los temas de ingeniería de software, existen pocos trabajos en metodologías o calidad. Para el caso de Inteligencia Artificial, resaltan los algoritmos, modelos de optimización, inteligencia, y redes.

Existen muchos programas educativos aislados que seguramente están respondiendo a necesidades específicas. Incluso hay distorsiones como la de los programas paracurriculares diseñados para ajustarse con mayor velocidad a los cambios del mercado y de los ámbitos vocacional y regional. Utilizando una sencilla tabla de frecuencia y normalizando los nombres de los programas y agrupando temas afines, encontramos los siguientes resultados.

Programas de maestrías y doctorados de Computación en México

Temática	Núm.	Temática	Núm.
Ingeniería de software	19	Administración de Proyectos	1
Cómputo	16	Aprendizaje	1
Inteligencia artificial	13	Bioinformática	1
Imágenes	10	Biotechnología	1
Electrónica	5	Tecnología educativa	1
Optimización	5	Geomática	1
Ingeniería computacional	4	Gestión del agua	1
Inteligencia	4	Ingeniería industrial	1
Robótica	3	Innovación	1
Administración de conocimiento	2	Investigación de operaciones	1
Automatización	2	Materiales	1
Comunicaciones	2	Mecatronica	1
Criptografía	2	Planeación	1
Sistema de información	2	Sistemas distribuidos	1
Transporte	2		

En relación con las tendencias internacionales tenemos una gran brecha con los temas que se atienden en México. A manera de contraste se puede comparar la información analizada de los programas del PNPC con los temas que se generan periódicamente, como es el caso del estudio de Gartner sobre las tendencias en tecnología para 2013. Es posible ver que no se corresponden los temas nacionales con los que son relevantes internacionalmente:⁹ En pocas palabras, los temas internacionales son prácticamente inexistentes o marginales en los temas de investigación en México, tales como Cómputo móvil; Aplicaciones nativas para la Web; Cómputo en la nube; Internet de las cosas; y Big Data y computación en memoria.

Para profundizar en los aspectos que más se investigan en el plano internacional, se realizó un ejercicio de identificación de los temas más representativos, considerando el país de origen, temas, subtemas y temáticas específicas. Se seleccionaron 24 categorías y se analizaron los 20 artículos más citados para identificar los temas más relevantes en los últimos 5 años, utilizando el sistema de búsqueda de *Google Scholar*.¹⁰ Con esta mecánica fue posible procesar una lista de más de 2 mil artículos a través de las entidades o conceptos nombrados. Los principales hallazgos son los siguientes:



- El tema de investigación que más se está trabajando en el mundo, de acuerdo a su frecuencia de aparición de artículos, es el relacionado con redes de computadoras y comunicaciones.
- Es interesante observar que le siguen temáticas como biotecnología, bioinformática e inteligencia artificial, que son tres conceptos altamente relacionados porque las técnicas de Inteligencia Artificial son utilizadas precisamente en biotecnología y bioinformática para análisis semi-automático de información de estos dominios.
- Cuando se efectúa un *zoom* a subtemas, resaltan nuevamente el tema de comunicaciones (computación móvil y comunicación inalámbrica), al igual que la biología computacional. Otros temas relevantes son la geo ciencias y sensores remotos.
- En temas específicos se observa también que el área de comunicación continúa apareciendo como un área muy relevante, con temas como Wireless, computación móvil, protocolos, antenas, redes de sensores y todos los temas relativos a redes de comunicación. Un aspecto

⁹http://www.computerworld.com/s/article/9232800/Gartner_s_Top_10_tech_trends_for_2013

¹⁰Estrada Esquivel, Hugo (2013), *op. cit.*

importante es que en esta lista concreta aparecen temas más genéricos, como análisis de algoritmos, encriptado y complejidad y temas de la Inteligencia Artificial (reconocimiento de rostros, programación genética, algoritmos evolutivos, traducción estadística de datos, web semántica o redes neuronales).

- Es interesante observar que son muy pocos los temas de bases de datos o de ingeniería de software.
- En cuanto a los países líderes en investigación, medidos por publicaciones, se encontró que los Estados Unidos de Norteamérica son el país que más artículos relevantes ha generado en los últimos 5 años. Seguido, con una gran diferencia, por China, Reino Unido, Alemania, Canadá, Suiza, Italia, Francia y España. Si se suman todos los artículos de los países de la Unión Europea (833 artículos) no son comparables con los 1,250 artículos de Estados Unidos.
- Aún cuando México ha avanzado en publicar investigaciones en revistas internacionales de prestigio, generalmente esta producción tiene las siguientes características: no es reciente (más de 5 años); no es muy citada en otros artículos de investigación; y se trabaja en muchas temáticas de investigación.

Es importante mencionar que se requieren más datos para corroborar estos resultados preliminares, y aclarar que esta selección puede estar sesgada por las diferentes categorías y subtemas utilizados en la desagregación. Sin embargo, existe en general una convergencia temática con Gartner.

La investigación y la formación en aspectos relacionados con las ciencias y tecnologías de información también pueden ser agrupadas por el tipo de participación y por el enfoque de apoyo en tres grandes campos: uno, el de investigación básica de desarrollo teórico y generación de conocimientos de frontera, con la participación de la academia y la empresa; dos, el campo de desarrollo de investigación de aplicaciones, que requiere incorporar en mayor medida el enfoque de mercado; y tres, el que estudie los aspectos de apropiación y mecanismos de compensación, con un enfoque social.

Este último aspecto forma parte de la estrategia de crear medidas compensatorias que el mercado no siempre puede proporcionar porque no existen condiciones adecuadas de sustentabilidad, que en un principio deben ser atendidas por el Estado, como es la educación. Entre las medidas compensatorias están el propiciar que más personas adquieran habilidades digitales; ampliar la

conectividad; aumentar la velocidad de acceso; que las personas aprendan adecuadamente las habilidades de lectura compleja; y que los precios sean económicamente eficientes.

En todo esto, subyace una pregunta clave: ¿qué hacer para impulsar más la investigación en México? Los problemas concretos de orden nacional deben ser los retos para las ciencias mexicanas, a través de mecanismos concretos: generar conocimientos de frontera para la solución de problemas; formar nuevos investigadores para disminuir la edad promedio vigente de los investigadores; crear multiplicadores que desarrollen nuevos investigadores y emprendedores tecnológicos; proyectar a los investigadores maduros; y formar equipos transdisciplinarios.

La integración de campos ha permitido grandes aportaciones a la ciencia, por ejemplo la genética, y la iniciativa que se está planteando para mapear al cerebro. Pero otras tres áreas que identifico son la biotecnología, los sistemas embebidos o dedicados; la economía de la información; y el ámbito del derecho en las TIC.

Quisiera hacer una reflexión final. Este tipo de evento nos permite mostrar las distintas visiones que tenemos para enfrentar los retos que la sociedad demanda a la Ciencia y Tecnología, pero desde mi punto de vista tenemos que acelerar el proceso de transformación y trabajar en alcanzar la velocidad de difusión de la revolución industrial que provocaron las TIC, como tecnologías de propósito general y al mismo tiempo como una ciencia emergente. Una estrategia para superar el rezago es identificar las intersecciones de las ciencias para provocar con innovación un salto cuántico, y una política pública agresiva en la materia, que está por verse si somos capaces de participar en su articulación e instrumentación en el corto plazo.