

## Academia Mexicana de Computación A. C. (Amexcomp)

La Academia Mexicana de Computación A. C. (Amexcomp) se fundó en enero de 2015 con el fin de crear un foro de pensamiento computacional de excelencia al servicio de México. La Academia tiene también por misión fomentar la vida colegiada de la comunidad nacional de computólogos y fortalecer a esta disciplina científica y tecnológica en nuestro país. A un año de su fundación la membresía de Amexcomp incluye a un nutrido grupo de destacados especialistas adscritos a Universidades, Tecnológicos e Institutos de Investigación de los sectores público y privado a lo largo del territorio nacional.

En este texto se presenta un panorama global del ecosistema de la Computación en México desde la perspectiva de los computólogos; se describe la situación actual de la comunidad y se hace una análisis crítico de las políticas de evaluación y estímulos que prevalecen en el entorno, de la problemática de la educación y de las oportunidades de vinculación entre la academia y los sectores productivos.

Las políticas y estrategias para el desarrollo se plantean desde la perspectiva de la cadena del valor cuyos eslabones son el conocimiento, la valoración, la estimulación, la acción y el estado actual. El eslabón central de los estímulos es esencial ya que determina las inercias científicas y tecnológicas de manera general y en última instancia lo que se hace o se deja de hacer. Las políticas abordan la cadena desde el eslabón final hacia atrás para mejorar la situación en el corto plazo, mientras que las estrategias la abordan desde el inicial hacia delante y están enfocadas a mejorar la educación y las valoraciones sociales que emergen del estado general de conocimiento: aquello a lo que la sociedad otorga valor y considera de calidad. Son estas valoraciones las que se tienen que cambiar para mejorar la calidad de la investigación y la educación, y para que la riqueza que genera la Computación en México se derrame a la sociedad.

# Políticas y estrategias para el desarrollo de la Computación en México

Luis Alberto Pineda Cortés  
Coordinador

Luis Enrique Sucar Succar

Francisco Javier Cantú Ortiz

Eduardo Morales Manzanares

Juan Manuel Ahuactzin Larios

ISBN 978-607-97357-0-8



9 786079 735708 >



Academia Mexicana de Computación A.C.





Políticas y estrategias para el desarrollo  
de la Computación en México

ACADEMIA MEXICANA DE COMPUTACIÓN, A. C.

## ACADEMIA MEXICANA DE COMPUTACIÓN

Dr. Luis Alberto Pineda Cortés  
Presidente

Dr. Luis Enrique Sucar Succar  
Vice Presidente

Dr. Carlos Artemio Coello Coello  
Tesorero

Dr. Francisco Javier Cantú Ortiz  
Secretario

Dr. Christian Lemaitre León  
Secretario

Dr. Jesús Favela Vara  
Vocal

# Políticas y estrategias para el desarrollo de la Computación en México

Luis Alberto Pineda Cortés  
(Coordinador)

Francisco Javier Cantú Ortiz

Luis Enrique Sucar Succar

Eduardo Morales Manzanares

Juan Manuel Ahuactzin Larios

Políticas y estrategias para el desarrollo de la Computación en México.

Coordinador general: Luis Alberto Pineda Cortés.

Coordinador y autor capítulos 1 y 6: Luis Alberto Pineda Cortés.

Coordinador y autor capítulo 2: Francisco Javier Cantú Ortiz.

Coordinador y autor capítulo 3: Luis Enrique Sucar Succar.

Coordinador y autor capítulo 4: Eduardo Morales Manzanares.

Coordinador y autor capítulo 5: Juan Manuel Ahuactzin Larios.

Primera edición: 2016

Academia Mexicana de Computación, A. C.

Todos los derechos reservados conforme a la ley.

ISBN: 978-607-97357-0-8

Corrección de estilo: Mario Sánchez Carbajal.

Formación: Homero Buenrostro Trujillo.

Diseño de portada: Mario Alberto Vélez Sánchez.

Cuidado de la edición: Luis Alberto Pineda Cortés y Homero Buenrostro Trujillo.

Este libro se realizó con el apoyo del CONACyT: Proyecto 263247

“Programa Anual de Actividades de la Academia Mexicana de Computación 2015”

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta, del contenido de esta obra, sin contar con autorización escrita de los autores, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su caso, de los tratados internacionales aplicables.

Impreso en México.

*Printed in Mexico.*

## Creación de la obra

Este libro es el producto de un esfuerzo colegiado de la comunidad de investigación, docencia e innovación y desarrollo tecnológico en Computación. El proyecto se planteó a partir de los objetivos estratégicos iniciales de la Academia Mexicana de Computación A. C., a saber: i) Describir el estado de la comunidad; ii) Analizar y recomendar políticas de evaluación y estímulos para su desarrollo; iii) Analizar el estado de la educación y iv) Identificar estrategias y oportunidades de vinculación. Para este efecto, el Consejo Directivo invitó a un miembro distinguido de la comunidad para coordinar la redacción de un capítulo por cada proyecto estratégico. Cada coordinador integró a su vez un grupo de trabajo constituido por varios miembros de la comunidad interesados en la temática respectiva. Los trabajos de cada grupo se iniciaron con una reunión presencial en la que se estableció el formato y contenido de cada capítulo, y cada grupo siguió interactuando a lo largo de varios meses con reuniones virtuales e intercambios a través de la web. Adicionalmente se formó un grupo de trabajo para hacer el planteamiento general y desarrollar las conclusiones, el cual se constituyó por el Consejo Directivo y los coordinadores de los cuatro proyectos estratégicos. La coordinación de este grupo la asumió el Presidente de la Academia. La redacción de cada capítulo la realizó el coordinador correspondiente y los textos fueron comentados y retroalimentados en varios ciclos por los grupos de trabajo, que se constituyeron en los Comités de Redacción de los capítulos. Por lo anterior el autor de cada capítulo es el coordinador con el apoyo de los miembros del Comité de Redacción correspondiente. Todas las reuniones de trabajo así como el proceso de producción del libro fueron posibles gracias al apoyo financiero del CONACyT.



## **Comité de Redacción**

### **Capítulos 1 y 6**

Luis Alberto Pineda Cortés, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México (Coordinador);

Luis Enrique Sucar Succar, Coordinación de Ciencias Computacionales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla;

Carlos Artemio Coello Coello, Departamento de Computación, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México;

Jesús Favela Vara, Departamento de Ciencias de la Computación, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada;

Francisco Javier Cantú Ortiz, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey;

Christian Lemaitre León, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Cuajimalpa, Ciudad de México;

Eduardo Morales Manzanares, Coordinación de Ciencias Computacionales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla;

Juan Humberto Sossa Azuela, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México;

Juan Manuel Ahuactzin Larios, T-Systems México, Puebla.

### **Capítulo 2**

Francisco Javier Cantú Ortiz, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey (Coordinador);

Carlos Alberto Reyes, Coordinación de Ciencias Computacionales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla;

Hugo Terashima, División de Investigación y Posgrado, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey;

Matías Alvarado, Departamento de Computación, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México;

Carlos Zozaya Gorostiza, Dirección Área Técnico Administrativa, Grupo BAL, Ciudad de México.

### **Capítulo 3**

Luis Enrique Sucar Succar, Coordinación de Ciencias Computacionales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla (Coordinador);

Juan Humberto Sossa Azuela, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México;

Carlos Artemio Coello Coello, Departamento de Computación, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México;

Adolfo Guzmán Arenas, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México;

Marcela Rodríguez Urrea, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali;

Manuel Montes y Gómez, Coordinación de Ciencias Computacionales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla;

Edgar Leonel Chávez González, Departamento de Ciencias de la Computación, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada;

Jesús Savage Carmona, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

#### **Capítulo 4**

Eduardo Morales Manzanares, Coordinación de Ciencias Computacionales, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla (Coordinador);

Christian Lemaitre León, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Cuajimalpa, Ciudad de México;

Raúl Monroy Borja, Departamento de Ciencias de la Computación, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México;

Verónica Medina Bañuelos, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa, Ciudad de México;

Francisco Cervantes Pérez, Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

#### **Capítulo 5**

Juan Manuel Ahuactzin Larios, T-Systems México, Puebla (Coordinador);

Carlos Zozaya Gorostiza, Grupo BAL, Ciudad de México.

Ofelia D. Cervantes Villagómez, Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Universidad de las Américas Puebla, Puebla;

Rocío Aldeco Pérez, Escuela de Tecnologías de la Información y Electrónica, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro;

Fabián García Nocetti, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México;

César Raúl Cárdenas Pérez, Centro de Diseño Electrónico, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara;

Efrén Mezura Montes, Centro de Investigación en Inteligencia Artificial, Universidad Veracruzana, Xalapa;

Eduardo Vázquez Santacruz, Netica, Robotics & Education, Ciudad de México;

J. Alfredo Sánchez Huitrón, Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Universidad de las Américas Puebla, Puebla;

Hanna Oktaba, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

La Academia Mexicana de Computación, A.C. agradece al  
CONACyT su apoyo para la creación de esta obra.

# Índice general

<b>1. Panorama de la Computación en México.....</b>	<b>15</b>
1.1. El Ecosistema de la Computación.....	16
1.2. Vinculación.....	22
1.3. Investigación básica .....	25
1.4. Docencia y formación de recursos humanos.....	30
1.5. La comunidad de los computólogos .....	31
1.6. Políticas públicas para el desarrollo de la Computación .....	32
<b>2. El estado de la comunidad de Computación en México.....</b>	<b>37</b>
2.1. Las personas.....	38
2.1.1. Los computólogos.....	38
2.1.2. Los miembros del Sistema Nacional de Investigadores en Computación .....	38
2.2. Las organizaciones .....	41
2.2.1. Las instituciones académicas.....	41
2.2.2. Los programas académicos de posgrado en Computación.....	42
2.2.3. Las instituciones privadas y públicas .....	43
2.2.4. Las sociedades científicas y los grupos de investigación .....	43
2.2.5. Las instituciones de Gobierno.....	46

2.3. Los resultados e insumos .....	47
2.3.1. La producción científica en Computación.....	47
2.3.2. Las empresas de innovación y el emprendimiento con base tecnológica en Computación .....	49
2.3.3. La infraestructura.....	51
2.4. Conexiones de la comunidad de Computación con el ecosistema .....	51
2.5. Epílogo.....	52
<b>3. Políticas de evaluación y estímulos .....</b>	<b>53</b>
3.1. Introducción.....	53
3.2. El Sistema Nacional de Investigadores como referente en la evaluación.....	55
3.2.1. Impactos positivos y negativos del SNI .....	57
3.3. Evaluación a nivel personal.....	59
3.3.1. Estado actual .....	59
3.3.2. Estado deseado .....	62
3.3.3. Recomendaciones .....	63
3.4. Evaluación a nivel grupal .....	65
3.4.1. Estado actual .....	65
3.4.2. Estado deseado .....	67
3.4.3. Recomendaciones .....	68
3.5. Evaluación a nivel institucional.....	69
3.5.1. Estado actual .....	69
3.5.2. Estado deseado .....	72
3.5.3. Recomendaciones .....	73
3.6. Conclusiones y recomendaciones .....	74

<b>4. Políticas para la educación</b> .....	79
4.1. Introducción.....	79
4.2. Educación preuniversitaria.....	81
4.3. Educación universitaria .....	83
4.4. Posgrados.....	86
4.5. Conclusiones .....	88
<b>5. Políticas, estrategias y oportunidades de vinculación</b> .....	91
5.1. La vinculación en México y su importancia .....	91
5.2. Modelos de vinculación.....	93
5.3. El papel de la vinculación en la economía.....	96
5.4. Importancia de los apoyos institucionales .....	99
5.5. Enfoque a problemas prioritarios y articulación de acciones.....	101
5.6. Indicadores clave de desempeño de la vinculación.....	105
<b>6. Políticas para el desarrollo de la Computación</b> .....	109
6.1. Políticas de estímulos .....	110
6.2. Políticas de Estado .....	123



# 1. Panorama de la Computación en México

El presente texto es el fruto del primer proyecto académico de la recién constituida Academia Mexicana de Computación, A. C. Nuestro objetivo es describir la situación de la comunidad de investigación, de la educación y del desarrollo e innovación, y proponer políticas públicas para el fortalecimiento de esta disciplina científica y tecnológica en México. Nuestra perspectiva se inscribe dentro del panorama global de la Computación, que incluye a varios actores, tanto nacionales como internacionales. Esto no puede ser de otra forma dado el tamaño y la importancia estratégica de la Computación en el gobierno, la industria, los diversos sectores de servicios, la educación y prácticamente en todas las actividades productivas y áreas de acción de la sociedad.

La Computación es una tecnología omnipresente que damos por sentado en las actividades de la vida cotidiana; es la actividad productiva de una buena parte de nuestros recursos humanos en el nivel profesional y técnico, en una amplia gama de áreas y niveles de especialidad, e impacta significativamente en el producto interno bruto y en la calidad de vida en nuestro país. La Computación seguirá creciendo y su importancia estratégica se incrementará conforme nos adentremos en el siglo XXI, por lo que su desarrollo y fortalecimiento es una prioridad nacional. Por estas razones, si entendemos a la soberanía como la capacidad de utilizar nuestros recursos naturales, tecnológicos y humanos para resolver nuestros grandes problemas, contar con un foro de excelencia de pensamiento computacional autónomo y comprometido es un asunto de soberanía nacional.



El primer objetivo del presente texto es clarificar cómo está conformada la comunidad agrupada en torno a la Academia Mexicana de Computación y por qué es necesario difundir su perspectiva, especialmente tomando en cuenta que esta comunidad constituye una proporción relativamente pequeña respecto al número de profesionistas y técnicos cuya actividad sustantiva es la *Computación*. Hablar de investigadores, docentes y estudiantes de posgrado, y de tecnólogos e innovadores, pudiera parecer bastante intuitivo en primera instancia, pero delimitar estos grupos, así como la orientación de su actividad, no lo es tanto; una lectura restrictiva sería excluyente y una amplia podría incluir a todos los usuarios de la Computación, que es prácticamente todo el mundo. Por ello, con el fin de evitar definiciones o una larga enumeración de atributos o estadísticas globales, que tienen poco sentido si se dan fuera de contexto, intentaremos primero describir el entorno de la Computación o su “ecosistema” con sus diferentes actores. Es en este marco en el que pretendemos transmitir las recomendaciones de política pública que nuestra comunidad propone para mejorar el estado de la Computación en nuestro país, y por supuesto, a sí misma.

## 1.1. EL ECOSISTEMA DE LA COMPUTACIÓN

Desde la introducción de la Computación a México a finales de la década de los años cincuenta y durante la de los sesenta del siglo pasado, su desarrollo ha girado principalmente en torno a lógicas de comercialización. En particular, los grandes productores de tecnología computacional tuvieron la necesidad no sólo de abrir, sino de crear el mercado para esta tecnología. En primera instancia, el foco era la comercialización del *hardware*, pero poco a poco se pasó al *software*, hasta llegar al mercado integral que tenemos actualmente. Este proceso de comercialización se canalizó primero a través de los grandes centros educativos, ya que sólo en estos entornos se podía encontrar los recursos humanos que se requerían para una tecnología tan novedosa. A partir de estas plataformas se instalaron los primeros centros de cómputo en el gobierno, en las grandes paraestatales, como el IMSS, la CFE y PEMEX, así como en los bancos y las aseguradoras. Posteriormente, estos servicios se fueron ampliando a los sectores comerciales, como los grandes almacenes y las cadenas de supermercados y a la industria, donde la Computación se requería fundamentalmente para los

servicios contables y administrativos. La revolución de las minicomputadoras en los ochenta y la introducción de las computadoras personales y la habilitación al público del Internet en los noventa, permitieron que las computadoras estuvieran disponibles no sólo en las universidades sino en los diferentes niveles de la educación y en el hogar. La revolución actual de los teléfonos portables obedece también a dicha lógica, donde la comercialización de la tecnología computacional ha llegado ya al nivel individual en prácticamente toda la sociedad.

Por supuesto, la introducción de esta tecnología desde sus etapas más tempranas ha sido siempre muy positiva para el gobierno, los sectores productivos y de servicios, el sector educativo y para la sociedad en general, ya que nos permite gozar de productos y servicios esenciales de los que no podríamos disfrutar de otra forma. Esta tecnología es útil y hay que aprovecharla.

El ecosistema de la Computación en México tiene dos tipos de insumos principales: 1) tecnología propiamente, la cual se basa en gran medida en patentes que se desarrollan y explotan en el contexto de artefactos, dispositivos y sistemas, así como los sistemas operativos, el software de comunicaciones y las capas intermedias de programación estrechamente asociadas al hardware, conocidas como *middleware*, y 2) recursos humanos, que se enfocan principalmente al desarrollo de aplicaciones finales de la tecnología. Los insumos de tipo 1 se proveen primordialmente desde el exterior mientras que los de tipo 2 se aportan mayoritariamente por nuestra sociedad.

Por supuesto hay otro tipo de insumos que son indispensables para el desarrollo, como las condiciones laborales, fiscales, etc., así como los capitales de riesgo (independientemente de que éstos han sido muy limitados en México), pero éstos se inscriben dentro de las dinámicas condicionadas por los dos tipos de insumos principales, como se verá a lo largo de este texto.

La Computación llegó a nuestro país vía la IBM y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1958, las cuales aportaron la tecnología (insumo de tipo 1) y los recursos humanos (insumo de tipo 2) respectivamente; los actores han variado a lo largo de los años dependiendo de la evolución de la

tecnología y de la dinámica del desarrollo de nuestro país, pero la fórmula central sigue siendo la misma. Microsoft, Google, Apple, Cisco, DELL, Intel, la propia IBM, entre muchas otras –como compañías enfocadas al análisis y desarrollo de sistemas que utilizan herramientas del tipo ERP (por Enterprise Resource Planning), como Sap y Oracle, o sus contrapartes de software libre, aunque en menor escala– ejemplifican a los proveedores actuales de insumos de tipo 1. Estas empresas aportan la tecnología mientras que el sistema educativo nacional produce en forma masiva los recursos humanos que permiten que la Computación llegue a todos los ámbitos de la vida nacional, es decir los insumos de tipo 2.

La comercialización de equipos y sistemas requiere de una fuerza de ventas de grandes dimensiones, constituida principalmente por recursos humanos nacionales, pero dirigida y coordinada estratégicamente desde las oficinas corporativas internacionales, por intermedio de oficinas corporativas nacionales, así como de grupos de asesores altamente especializados, nacionales o extranjeros, pero en ambos casos asociados estrechamente con los corporativos internacionales. Adicionalmente se requieren abundantes recursos humanos con orientación técnica para el desarrollo, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas, los cuales se aportan por nuestro sistema educativo.

En esta línea de comercialización la parte compradora está constituida principalmente por el gobierno en sus diversos sectores, el sector financiero, las grandes cadenas comerciales, los consorcios industriales y las empresas nacionales de servicios, como de comunicaciones, entretenimiento, energía y transporte, por mencionar algunos de los más importantes. Todos los compradores requieren de recursos humanos en grandes números para incorporar, adaptar, desarrollar, operar y mantener los sistemas que habilitan su operación, y este segmento constituye el mercado laboral principal de la Computación en México.

Estas actividades se desarrollan en las direcciones o departamentos de sistemas de las propias empresas, pero también a través de la subcontratación de procesos de negocios o “Business Process Outsourcing” (BOP) con la subsecuente transferencia del desarrollo de las aplicaciones finales a empresas especializadas en tecnología de la información, como las empresas mexicanas Softtek e Hide-

brando. Estas empresas se enfocan al mercado nacional e internacional y requieren también recursos humanos altamente calificados en grandes cantidades. La actividad computacional orientada al desarrollo y administración de aplicaciones finales tomada en su conjunto se designa tradicionalmente como *la Informática*, y las carreras profesionales que la nutren son las licenciaturas en Informática.

Otra línea de comercialización es la venta de productos y sistemas directamente al consumidor final, la cual se lleva a cabo principalmente por los grandes corporativos a través de sus representantes locales, con una fuerza laboral constituida por vendedores. Por lo mismo, esta línea no contribuye significativamente al mercado laboral con orientación profesional y tecnológica. Es cierto que una gran parte de los recursos humanos especializados en Computación e Informática terminan como vendedores y administradores, pero esto es consistente con la lógica del ecosistema.

Dentro del ecosistema hay que considerar también al sector de la maquila de sistemas de cómputo y comunicaciones. Este sector tiene un peso específico importante en el producto interno nacional, pero dada su lógica de instalación de plantas de manufactura, con tecnología desarrollada por las matrices en el extranjero, o comprada a terceros en el mercado tecnológico internacional, así como de importación de insumos y partes, y de exportación de productos terminados, incide poco en el ciclo principal de la tecnología descrito arriba.

Aunque en el discurso oficial esta industria se presenta frecuentemente como de alta tecnología nacional, las patentes que sustentan no sólo a los productos finales, sino también a la tecnología empleada en su producción, pertenecen a empresas internacionales. Más aún, muchos productos de alta tecnología se maquilan y comercializan localmente en México, pero desde esta perspectiva, es como si se hubieran hecho en China, ya que transitan de manera secuencial por dos ciclos productivos diferentes.

Un caso particular en este sector son las llamadas fábricas de software; aunque estas empresas no generan patentes ni productos derivados de las mismas, y desarrollan software de sistemas sólo de manera muy limitada, sí representan

una oportunidad para el desarrollo, ya que a diferencia de otras ramas, como la automotriz, la aeronáutica o la electrónica, que requieren inversiones muy altas, la industria del software requiere más bien de recursos humanos de alta calidad y de un ecosistema que promueva y facilite la innovación con un nivel relativamente bajo de inversión, lo que han aprovechado otros países de igual o menor nivel de desarrollo que México. Prueba de esto es el éxito de Softtek que tiene ya una presencia internacional y un nivel de negocios nacionales e internacionales muy significativo.

Hay también una multiplicidad de otros actores, como profesionistas, desarrolladores privados y técnicos que ofrecen sus servicios a nivel personal, así como pequeñas empresas que ofrecen asesorías y capacitación. Sin embargo, estas personas y empresas gravitan en torno al ciclo principal de la comercialización y están supeditadas a las rendijas de oportunidad que se les abren de vez en cuando.

Un elemento esencial para comprender varios aspectos de la actividad computacional en México es que la educación está orientada fundamentalmente a satisfacer la demanda del ecosistema en toda su variedad y alcance. Los recursos humanos que se forman son justo los que los sectores productivos demandan. En el caso del mercado laboral de la Informática, el énfasis se hace en habilidades técnicas, comerciales y administrativas, pero no en las habilidades para desarrollar tecnología propiamente, es decir, insumos de tipo 1. Para estas habilidades no hay realmente un mercado laboral de dimensiones significativas.

Una paradoja del ecosistema de la Computación en México es que, a pesar de su tamaño, la riqueza que genera no se derrama a la sociedad. Esto es así porque el valor agregado de la alta tecnología es de quien la crea y no de quien la vende o la usa de manera pasiva. En particular, el mercado de la tecnología computacional en nuestro país enriquece a los representantes comerciales y a los grandes proveedores de servicios, pero la mayor parte de la riqueza que se genera regresa a los países de origen, no sólo por los derechos comerciales sino por el valor agregado del producto final, que es muy alto. Es claro que un objetivo general de política pública sería que una mayor parte de esta riqueza se quedara

en nuestro país; sin embargo, para que esto sea posible, se requiere crear un mercado laboral donde el diseño y la innovación tengan un mayor peso específico y donde se necesiten recursos humanos enfocados a la innovación con mayor preparación científica y tecnológica. Para que exista este mercado es indispensable que México genere productos tecnológicos que entren al ecosistema como insumos de tipo 1 de manera significativa. El problema es cómo lograrlo.

Un parámetro central para evaluar el avance y lograr este objetivo es el número de patentes otorgadas a inventores nacionales. Aquí hay que recalcar que las 10 empresas internacionales que más patentes producen en el mundo son de tecnología computacional o tienen un componente muy importante de esta tecnología. Esto contrasta de manera significativa con las empresas mexicanas donde, a pesar del énfasis que se ha puesto en el discurso público en los últimos años acerca de la importancia de solicitar y obtener patentes, el número de patentes solicitadas por inventores nacionales es muy limitado todavía, y el de patentes de alta tecnología computacional es prácticamente nulo.

Como consecuencia directa de la carencia de patentes en México no tenemos empresas cuyo producto final sea de alta tecnología, como *laptops*, *tablets*, teléfonos portátiles o cámaras, que tengan que lanzar un nuevo modelo cada 6 ó 12 meses al mercado nacional e internacional, a riesgo de perecer ante la competencia. La carencia de este tipo de empresas es uno de los factores principales por los que no hay un mercado laboral para investigadores e ingenieros que se dediquen realmente al desarrollo de alta tecnología, y la carencia de este mercado laboral es a su vez responsable de que no exista una demanda de recursos humanos para el diseño y desarrollo de estos productos. Consecuentemente, el sistema educativo no tiene ninguna presión para formar los recursos humanos capaces de crear alta tecnología.

Por otra parte, la carencia de este tipo de empresas es a su vez responsable de la carencia de patentes. Padecemos aquí de un círculo vicioso en el que no hay empresas porque no hay patentes y no hay patentes porque no hay empresas.

La lógica de las patentes en los grandes números depende de la decisión de llevar a cabo grandes proyectos cuya especificación original es de carácter

sumamente general y cualitativo, y de la disponibilidad de empresas o consorcios empresariales capaces de desarrollar dichos proyectos. En la historia abundan los ejemplos, como la decisión de construir automóviles, computadoras, aviones, robots industriales, circuitos integrados, equipos de comunicaciones, sistemas de transporte, por mencionar sólo algunos. Las empresas que desarrollan estos productos pasan de la conceptualización inicial al diseño detallado, que normalmente se lleva a cabo mediante la especificación de módulos para ser desarrollados por grupos o personas específicas. Cuando los productos son genuinamente innovadores los problemas particulares que surgen en el proceso de diseño pueden contar ya con soluciones tecnológicas, lo que puede dar lugar a patentes por “uso”, pero si no hay soluciones conocidas, se hacen, exploran y evalúan propuestas novedosas, que pueden dar lugar a patentes originales. Estas patentes son las que se desarrollan y se traducen en los artefactos, dispositivos o sistemas que constituyen o se integran al producto final.

Un ejemplo paradigmático en la historia de la Computación fue la decisión de la IBM de desarrollar la serie de computadoras 360 a principios de los sesenta, que le permitió dominar el mercado mundial por casi treinta años. Esta decisión se tomó para aprovechar la oportunidad de crear una plataforma comercial estándar que integrara los avances recientes de software en lenguajes de programación y sistemas operativos. La decisión en sí no produjo ninguna patente, pero su diseño y construcción, así como la demanda de dispositivos específicos que generó, como procesadores, sistemas de memoria RAM y externa, sistemas de captura e impresión y sistemas de comunicaciones, dieron lugar a miles de patentes. Esta fórmula para desarrollar patentes contrasta con la imagen popular del investigador que de pronto se le ocurre una idea bajo la regadera o se la revela un sueño, que también existe y probablemente da lugar a patentes trascendentes, aunque mucho menos frecuentes, a las que llamaremos patentes románticas, que dependen de la creatividad individual.

## 1.2. VINCULACIÓN

La inquietud de desarrollar tecnología computacional y vincularla con los diversos sectores ha estado presente en México desde la instalación de la primera

computadora. En particular, la IBM 650 que se instaló en la UNAM en 1958, se justificó por la necesidad de resolver sistemas de ecuaciones de grandes dimensiones en problemas de Astronomía, Física, Química y las Ingenierías. A esta línea de trabajo se le conoce como Computación Científica, cuya necesidad sigue dominando la percepción de la Computación en el entorno científico y ha dado lugar a varios capítulos de la historia, desde la adquisición y uso de supercomputadoras hasta las actuales grandes granjas de servidores de supercómputo. La Computación Científica sí involucra recursos humanos altamente especializados con grado de maestría y doctorado.

Sin embargo, la Computación Científica no ha contribuido al desarrollo de tecnología computacional propiamente, es decir al diseño y construcción de equipos, tanto a nivel de hardware como de software de sistemas y, consecuentemente, al desarrollo de insumos de tipo 1. Adicionalmente, aunque el consumidor final del supercómputo —o cómputo de alto rendimiento— es la academia, su relación con esta tecnología es de “cliente”, y su adquisición y uso están enclavadas plenamente en el ciclo principal de la comercialización. Más aún, la academia y el sector educativo en su conjunto constituyen uno de los mayores consumidores de la tecnología computacional y, desde esta perspectiva, el sector académico y de investigación están inmersos en el ecosistema principal, sin diferenciarse en este aspecto de los demás sectores.

Por su parte, el gobierno y los sectores empresarial y académico, aunque éste último en menor medida, han tenido desde hace más de tres décadas la inquietud de aportar insumos de tipo 1 al ecosistema; por ejemplo con las llamadas “incubadoras de empresa” de finales de los setenta y principios de los ochenta. Estas iniciativas han estado enfocadas esencialmente a aportar fondos y proveer tutoría, asesoría e infraestructura para la creación de pequeñas empresas tecnológicas, bajo diversas fórmulas y enfoques, dependiendo de la época y de las formas de pensar acerca de la vinculación por una gran variedad de actores. Sin embargo, a pesar de que el esfuerzo ha sido continuo y que ha habido siempre gurús y entusiastas de este tipo de iniciativas, los resultados han sido sumamente limitados.



El énfasis en este discurso ha sido siempre satisfacer “al cliente”, cuyas necesidades inmediatas están de antemano condicionadas por la inercia del ciclo de comercialización principal, por lo que la actividad creativa queda supeditada a las necesidades financieras, comerciales y operativas de corto plazo. Esta lógica subsume a los programas de desarrollo tecnológico e innovación al sistema de comercialización, que es justo lo que hay que superar, pues limita de antemano la posibilidad de crear insumos genuinos de tipo 1. Una muestra de las limitaciones de este discurso es el número muy limitado de patentes generadas por los centros nacionales de investigación aplicada, como el Instituto Mexicano del Petróleo y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, que se han enfocado a proveer servicios a PEMEX y a la CFE, sus clientes naturales, que importan tecnología de manera masiva, pero no han contribuido a la creación de una industria de alta tecnología nacional para apoyar el desarrollo del sector energético en México. Si estos institutos se hubieran enfocado a la producción de patentes que pudieran licenciarse por empresas realmente innovadoras, el panorama sería más promisorio.

De manera más profunda, en México no hay una cultura tecnológica y para la sociedad no es claro en qué consiste hacer tecnología. Por lo mismo, el entorno es pobre y los productos poco originales o de baja tecnología. En otras palabras, hay pocas ideas innovadoras y no hay tampoco el conocimiento, recursos y paciencia para desarrollarlas hasta convertirlas en productos finales. Ante la carencia de ideas y productos, las pequeñas empresas tecnológicas se ven en el dilema de sumarse al ecosistema como insumos de tipo 2 o desaparecer.

Como respuesta a esta problemática se han creado programas como PRO-SOFT de la Secretaría de Economía, cuyo objetivo es fomentar el desarrollo de una industria de software mediante subsidios; sin embargo, dado el estado de nuestra cultura tecnológica, estos recursos se han orientado a dotar de infraestructura a las empresas, financiar asesorías, capacitación, certificación, servicios de información y en algunos casos para financiar los gastos de operación de estas empresas.

Aunque este tipo de iniciativas son útiles para aumentar el empleo y la calidad de vida de algunos segmentos de la sociedad, es necesario distinguir el

desarrollo de una industria de software, que es un objetivo de política económica nacional, de la innovación tecnológica con potencial de traducirse en alta tecnología, que en nuestro estado actual es un objetivo de política científica y tecnológica. En este contexto el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) lanzó ya hace algunos años el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) cuyo objetivo es aportar fondos a empresas que inviertan en el desarrollo de tecnología y desarrollen proyectos en los que participen académicos; sin embargo, este programa no pone como requisitos que se desarrollen o exploten patentes por inventores nacionales, y la mayoría de los proyectos tienen un carácter aplicativo. Además, al igual que en PROSOFT, los fondos terminan ocasionalmente subsidiando actividades sustantivas de las empresas. En el mejor de los casos los productos de estas iniciativas mejoran la competitividad de las empresas, pero no se traducen en productos finales de alta tecnología orientados a los mercados nacional e internacional.

En conclusión, el ciclo principal de comercialización con sus dos tipos de insumos tiene una gran inercia global que hace posible que seamos grandes usuarios de la tecnología y que disfrutemos de sus beneficios; sin embargo, el valor agregado que genera la Computación no se derrama a la sociedad. Esta es una realidad que se debe de enfrentar. Por otra parte, el sistema actual tiene un campo de fuerza impenetrable que rechaza todos los esfuerzos para introducir alta tecnología de manera local como insumos de tipo 1, pero que a su vez permite que los diferentes esfuerzos se asimilen al ciclo de comercialización principal de manera sucesoria, cooptando a la creatividad por esta vía alternativa.

### 1.3. INVESTIGACIÓN BÁSICA

La investigación básica es otro componente esencial del ecosistema. Ésta se ha desarrollado en México desde el inicio, aunque desligada en grado extremo de los demás actores y del ciclo de la comercialización. Además, en contraste con otras disciplinas científicas consolidadas y aceptadas socialmente, como la Física, la Química, la Biología y las Matemáticas, la Computación transitó por muchos años por un ambiente de incompreensión e indiferencia, en el que los científicos de la Computación se veían como personal de apoyo técnico para programar los modelos propios de dichas disciplinas.

Sin embargo, poco a poco empezó a definirse una comunidad de “computólogos” enfocados a la investigación en temas computacionales propiamente, como la teoría de la Computación, Autómatas y Lenguajes Formales, Lenguajes de Programación, Bases de Datos, Inteligencia Artificial –en su gran variedad de áreas y enfoques–, Ingeniería de Software, Sistemas Operativos y Programación de Sistemas, Interacción Humano-Computadora, Redes y Teleproceso, etc., y aunque ésta es aún una comunidad joven, se encuentra en un proceso de consolidación acelerado.

En las primeras décadas hubo una frontera muy borrosa entre los *informáticos*, que se dedicaban a poner en marcha los centros de cómputo y a la creación de sus sistemas de software, y los *computólogos*, que se dedicaban a la investigación, la docencia y a la formación de recursos humanos, y con frecuencia las mismas personas se desempeñaban en ambos ámbitos. La parte aplicada, por supuesto, se asimilaba al ecosistema global, pero la parte de investigación sí se mantenía ajena a dicho ciclo y tenía por objetivo hacer investigación teórica, sin dejar de atender oportunidades de desarrollos tecnológicos innovadores. Sin embargo, a diferencia de los esquemas tradicionales de vinculación, el interés se centraba en aspectos de alta tecnología para los cuales no había interlocutores en el entorno nacional. Si hubo productos de esta época generados en México o por investigadores mexicanos trabajando en el extranjero, éstos se insertaron en el ecosistema como insumos de tipo 1 a través de las empresas internacionales.

En todo caso, la investigación básica tuvo un perfil muy discreto en el entorno nacional y una presencia muy limitada en el entorno global. A pesar de que desde los sesenta ha habido revistas y conferencias de gran prestigio internacional, la presencia de la comunidad mexicana en estos foros fue muy limitada hasta finales de los setenta y mediados de los ochenta. Esto se puede verificar con el número muy reducido de artículos producidos por investigadores mexicanos trabajando en México publicados en revistas indizadas hasta finales del siglo XX.

La situación empezó a cambiar con la aparición del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) –que adoptó como parámetro principal en sus esquemas de evaluación el número de artículos publicados en revistas incluidas en el *Journal*

*Citations Report* (JCR) del *Science Citation Index*—, así como las repercusiones que los criterios del SNI han tenido en los diversos entornos de evaluación en las universidades y los centros de investigación. Esta política contribuyó indudablemente a la profesionalización masiva de la ciencia en México, y la Computación se vio también beneficiada en este aspecto. Desde entonces el número de artículos publicados se ha incrementado lentamente pero de manera continua y en la actualidad hay ya una producción constante.

Otro factor que incidió en el cambio fue la ampliación del apoyo para hacer doctorados en el extranjero que ofreció el CONACyT a partir de la década de los ochenta, y el retorno de la generación de doctores que se formó en dicha época, la primera que se puede considerar como tal en términos de los números, ya que aunque hubo doctores en Computación formados en el extranjero anteriormente se trató más bien de casos aislados.

Sin embargo, el énfasis en la cantidad a expensas de la calidad en los esquemas de evaluación del SNI es limitado y ha tenido efectos no deseados en el desarrollo de la Computación. Por ejemplo, como todos los artículos en revistas dan los mismos puntos, la gran mayoría de los artículos se envían a revistas de mediana o baja calidad. Esto es natural porque aunque todo el trabajo se debe estimular y contabilizar, no todas las ideas tienen el mismo impacto. Esto se refleja y se reconoce en que haya revistas en toda la gama del espectro de calidad. El efecto no deseado de esta política, y esto es lo que hay que subrayar, es que las publicaciones en las revistas de mayor prestigio por autores mexicanos trabajando en México en las áreas más paradigmáticas de la Computación, como el *ACM Journal*, *Artificial Intelligence*, *PAMI*, *Machine Learning*, *Computational Linguistics*, etc., son todavía muy escasas y la contabilidad en otras igualmente importantes, como *Transactions on Data Base Systems* o *Transactions of Computer Graphics*, por ejemplo, es todavía nula.

Otra política del SNI que ha repercutido de manera negativa en el fortalecimiento de la Computación es la de no contabilizar como productos de investigación a los artículos en congresos y conferencias de prestigio internacional. Este es un criterio impuesto por las disciplinas científicas tradicionales, como la

Física, la Química, la Biología, la Medicina, las Neurociencias, algunas ramas de la Ingeniería, etc., donde la participación en los grandes eventos internacionales es a través de carteles y resúmenes cortos, y donde la mayoría de las ponencias son por invitación. Este formato fomenta la integración y la interacción informal de los científicos de todo el mundo, que es esencial para el desarrollo de la ciencia, pero en dichas disciplinas no se considera de peso para evaluar la calidad.

El formato de las conferencias en ciencias básicas contrasta radicalmente con el formato de las principales conferencias internacionales de Computación, donde para participar se requiere enviar artículos en extenso que son evaluados con los mayores estándares de calidad. Adicionalmente, como el apoyo institucional para participar en estos eventos se condiciona normalmente a la presentación de un artículo, la comunidad no puede participar si sólo se trata de integrarse e interactuar. Consecuentemente, dado que el esfuerzo de enviar artículos a las principales conferencias internacionales es similar, y en muchos casos mayor, que enviar artículos a revistas indizadas de mediana o baja calidad, se envían relativamente pocos artículos a conferencias de excelencia internacional. Se arguye frecuentemente por científicos e ingenieros de otras especialidades que si los artículos son realmente buenos se deben enviar directamente a revistas de alta calidad, lo cual se hace en la medida de lo posible, pero esta actitud no toma en cuenta que publicar en dichos foros se logra mediante el posicionamiento dentro de la comunidad internacional y la interacción personal, para lo cual se requiere presencia en los eventos internacionales de excelencia.

Una consideración adicional es que la mayoría de las citas en Computación se hacen a artículos publicados en las memorias o *proceedings* de conferencias y congresos, en contraste con disciplinas en las que las citas se hacen a artículos en revistas incluidas en el *JCR*. Consecuentemente, la comunidad mexicana de Computación, salvo algunas excepciones muy notables, recibe un número de citas muy reducido en relación a otras disciplinas en los índices considerados por el SNI, con el consecuente impacto negativo en su evaluación.

En todo caso, el efecto directo de no tomar en cuenta los artículos en conferencias de excelencia internacional es que la presencia de la comunidad en

estos foros es muy limitada, lo cual no es bueno para la comunidad, ni para la imagen de México en general.

Otro efecto negativo de los criterios de evaluación del SNI y de los sistemas de evaluación inspirados en los mismos, es que la comunidad de investigación se involucra relativamente poco en el desarrollo tecnológico y la innovación con fines comerciales. Estas labores requieren de mucho tiempo y recursos, y tienen grandes costos profesionales para quienes la abordan, a menos que el producto se logre patentar. También hay que tomar en cuenta que el ciclo de desarrollo tecnológico y el proceso de la patente son mucho más largos, de dos a tres veces, que los ciclos de evaluación tanto del SNI como del sector académico en general. El problema de no abrir esta puerta es que son precisamente los investigadores quienes, por su conocimiento y experiencia, están en condiciones de generar ideas genuinamente innovadoras que puedan incidir como insumos de tipo 1.

Aunque la creencia popular de que las grandes ideas surgen de estados de inspiración es un poco romántica, esto sí ocurre de vez en cuando, especialmente en entornos de conocimiento, y estas ideas pueden dar origen a invenciones particulares que a su vez pueden ser objeto de patentes de gran alcance; sin embargo, para desarrollar las ideas se requiere tiempo, recursos, estímulos y reconocimiento. No estimular apropiadamente a la actividad de los científicos en el rubro del desarrollo tecnológico cancela la posibilidad de integrar a la investigación básica al resto del ecosistema de manera sana.

También hay que tomar en cuenta que los científicos y los tecnólogos son objeto de grandes presiones como insumos de tipo 2 dentro del ecosistema. En particular, los estímulos a la innovación que actualmente ofrece el gobierno a través de la Secretaría de Economía y el CONACyT fomentan este tipo de enfoque laboral. Esto representa otra de las válvulas de escape del ecosistema para dar cabida a los científicos que quieran vincularse, pero cambiando la orientación y efecto de su actividad de manera radical.

## 1.4. DOCENCIA Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La docencia y formación de recursos humanos, especialmente en el nivel de posgrado, son también actividades sustantivas de los computólogos. Esta comunidad, constituida por unos cuantos cientos de personas, educa, guía e influye a los maestros y capacitadores de los niveles profesional y técnico a nivel nacional. Los computólogos son los maestros de los maestros. Por ello están en posición de influir en la definición de los programas de estudio y de fijar los parámetros de calidad, y la intensidad de su acción se refleja en la profundidad de la cultura computacional de la sociedad en general. En México contamos con varios cientos de maestrías, licenciaturas y escuelas técnicas de Computación e Informática, y la planta docente del sector se cuenta en las decenas de miles, lo que da una idea del peso específico de los computólogos en el sector.

La comunidad de computólogos tiene también la vocación de producir recursos humanos para la investigación y la creación de alta tecnología computacional, es decir, para generar insumos de tipo 1. Sin embargo, esta vocación está en conflicto con el ciclo de la comercialización que demanda mayoritariamente recursos humanos con formación técnica y operativa, es decir insumos de tipo 2. De aquí el énfasis en la certificación profesional y técnica en diversas especialidades, como los sistemas de comunicaciones o de seguridad, que da a los estudiantes acceso al mercado laboral de la Informática en relativamente buenas condiciones. Sin embargo, las herramientas computacionales de carácter comercial suelen tener ciclos de vida muy cortos, en el orden de cinco a diez años en el mejor de los casos, y los recursos humanos generados por el sector se hacen obsoletos en plazos muy breves. Esta es una de las razones por las que muchos ingenieros en Computación y licenciados en Informática se ven obligados a sumarse a las fuerzas de ventas o administración. Estos perfiles profesionales se determinan por el ecosistema actual, que favorece lo táctico sobre lo estratégico y la cantidad sobre la calidad.

Por lo anterior es indispensable que los investigadores y tecnólogos se involucren de manera más profunda en la educación. Esto es necesario no sólo para producir más científicos e ingenieros que nutran el mercado laboral de la acade-

mia, que también es muy grande, sino para que los estudiantes puedan inyectar insumos de tipo 1 al ecosistema. Esto ya se está logrando de manera parcial, por ejemplo mediante la creación de aplicaciones para la red o los teléfonos portátiles, con gran alcance potencial, pero es necesario hacer un esfuerzo mucho mayor para que esta actividad se consolide como mercado laboral.

Hay que recalcar que las políticas de evaluación han tenido un impacto negativo en el rubro de la educación ya que la docencia frente a grupo y la formación de recursos humanos cuentan muy poco en relación al número de publicaciones en el *JCR*, por lo que aunque la comunidad está realmente comprometida con este rubro, lo hace con un costo muy alto a nivel personal.

Tampoco se estimulan otras actividades relacionadas con la docencia, como la producción de libros de textos y materiales didácticos, por lo que la producción de calidad en este rubro es mínima. De hecho, la mayoría de los textos en español en esta especialidad son traducciones de textos en inglés producidas en España, sin que esto garantice su calidad, además de que las diferencias dialectales dificultan su comprensión. Más aún, libros de texto escritos por autores mexicanos que se publican por editoriales españolas se revisan estilísticamente de acuerdo al español de España.

## 1.5. LA COMUNIDAD DE LOS COMPUTÓLOGOS

Dentro del panorama general del ecosistema y tomando en cuenta sus actores y formas de relación, nos enfocamos ahora en la comunidad de los computólogos, que es precisamente la convocada por la recién formada Academia Mexicana de Computación. Esta comunidad se integra por quienes hacen investigación básica, desarrollo tecnológico e innovación así como educación de excelencia, especialmente en el nivel de posgrado.

Aunque la mayoría de los computólogos son académicos, hay también algunos que se desempeñan en otros sectores del ecosistema. Lo que los une es el interés de mejorar la práctica de la disciplina en sus diversos ámbitos, para superar las limitaciones del ecosistema actual.



Esta orientación distingue a los computólogos de los actores que hacen posible la operación cotidiana del ciclo de la comercialización, cuyos esfuerzos están orientados directamente a que la sociedad disfrute de la tecnología computacional. Asimismo, esta comunidad es un subconjunto de los recursos humanos con los que cuenta el sector educativo, ya que la gran mayoría de estos están enfocados a la enseñanza de las metodologías y las herramientas de la Computación, para formar los recursos humanos que demanda el ecosistema, como se describe arriba.

A pesar de que la comunidad de los computólogos constituye una proporción muy pequeña de los actores del ecosistema, es nuestra única fuente de inteligencia computacional ajena a intereses políticos, financieros y comerciales. Asimismo, esta comunidad asume el liderazgo intelectual y guía a la educación en Computación a nivel general.

Por otra parte, esta comunidad constituye una fracción significativa de la comunidad científica nacional, como se puede apreciar por la proporción de computólogos en el SNI. Sin embargo, su injerencia en la vida académica y en la definición de la política pública para la ciencia y la tecnología es aún muy limitada. Esto se debe, entre varios factores, al bajo número de miembros de la comunidad que están en los niveles II y III de dicho sistema, en contraste con otras disciplinas tradicionales, cuyas comunidades son más pequeñas, pero cuentan con mucho más miembros en los niveles altos del SNI, tanto en números absolutos como relativos. Esto ha favorecido el fortalecimiento de las ciencias básicas, pero no el desarrollo de alta tecnología nacional y, por lo mismo, el contar con una ciencia básica más madura no ha incidido en el ciclo principal de la tecnología, que es análogo al descrito para la Computación.

## 1.6. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EL DESARROLLO DE LA COMPUTACIÓN

La Academia Mexicana de Computación (AMEXCOMP) hace, en este contexto, una reflexión acerca del estado de la comunidad para luego proponer políticas y estrategias con el fin de mejorar a la Computación tanto en la aca-

demia como en el ecosistema general. En el capítulo 2 se presenta un análisis cuantitativo y cualitativo de la comunidad en el momento actual:

- Quiénes son los actores individuales e institucionales.
- En qué áreas y especialidades están trabajando.
- Cuál es su productividad y grado de madurez.
- Quiénes están orientados a la investigación básica.
- Quiénes al desarrollo tecnológico y la innovación.
- Qué tanto están integrados y por qué mecanismos, tanto internamente como con la comunidad internacional y la relación que mantienen con el ecosistema general.
- Cuáles son sus estrategias para la investigación y la vinculación.
- Cuál es su actividad docente y de formación de recursos humanos y cómo se relaciona con el resto del sector educativo.
- Qué oportunidades está aprovechando y cuáles son sus carencias y limitaciones.

En el capítulo 3 se aborda la problemática de las políticas de evaluación y estímulos para la comunidad. Se analiza el papel preponderante que ha asumido el SNI en los diversos esquemas de evaluación y los programas de estímulos, y cómo los criterios de este sistema condicionan el estado actual de la ciencia y la tecnología computacional en México. En particular, se aborda cómo los criterios de evaluación y estímulos afectan la actividad de los computólogos a nivel personal, grupal e institucional; finalmente, se hacen varias recomendaciones para redefinir los esquemas de evaluación y estímulos para mejorar el estado de la Computación en nuestro país.

El capítulo 4 trata de la problemática de la educación. Se aborda la necesidad de educar a toda la sociedad para capitalizar al máximo los beneficios de

la tecnología digital, especialmente en el contexto global y tomando en cuenta la conectividad informática y el Internet. Se analiza la necesidad de capacitar a la sociedad para enfrentar los riesgos a los que nos expone esta tecnología, así como la necesidad de regimentar la educación en Computación e Informática ante el caos que impera ahora debido a la cantidad de programas y orientaciones, empezando con los mismos nombres y estatus de dichos programas. Esta discusión se hace desde las perspectivas de la educación preuniversitaria, universitaria y posgrado. Se discute también la necesidad de incluir en la currícula educativa la enseñanza del *pensamiento computacional* en todos los niveles de la educación y en las diversas orientaciones de la enseñanza. Se aborda también la necesidad de mejorar la cantidad y calidad de los recursos humanos orientados al mercado laboral actual, es decir como insumos de tipo 1, pero también de crear una fuerza laboral altamente calificada para generar tecnología de punta, es decir, insumos de tipo 2.

En el capítulo 5 se aborda la problemática de la vinculación. Como se describe arriba, esta problemática tiene una larga historia en nuestro país, con resultados todavía muy limitados. Esta historia se cuenta desde muchas perspectivas, principalmente de la empresa, del gobierno y de los promotores de la vinculación, pero la versión que hace falta es la de los computólogos. El ecosistema es como una aspiradora que se traga todos los esfuerzos reales de innovar, por lo que es necesario exhibir sus trampas y proponer soluciones al problema principal: cómo se pueden generar insumos nacionales de tipo 1 que ingresen al ecosistema principal. Aquí es necesario esclarecer qué acciones están encaminadas a apoyar el ecosistema actual en términos de la metáfora cliente-proveedor y cuáles están enfocadas a la producción de alta tecnología computacional genuinamente. En todo caso, este capítulo presenta un análisis crítico de lo que se está haciendo para proponer estrategias que mejoren la situación actual.

En el capítulo 6 se retoman de manera más general los objetivos centrales de la comunidad de los computólogos: mejorar la calidad de la investigación y enriquecer a la sociedad. Para alcanzar estos objetivos es necesario establecer políticas científicas y tecnológicas que reorienten algunos aspectos de la actividad de la comunidad en el corto y mediano plazo, así como estrategias de largo

aliento que tomen en cuenta las inercias científicas, culturales y tecnológicas que se traduzcan en mejoras estructurales a largo plazo.

Para este planteamiento se requiere partir tanto de los aspectos positivos como de las limitaciones del estado actual, así como describir claramente el estado deseado. Se requiere asimismo considerar que el estado actual depende de lo que se hace, lo que se hace de lo que se estimula, lo que se estimula de lo que se valora y lo que se valora de lo que se conoce. Estos elementos (Conocimiento, Valoración, Estimulación, Acción y Estado Actual) se pueden pensar como eslabones de una cadena a la que llamamos aquí *la cadena del valor*. Mejorar la situación requiere incidir en esta cadena en ambas direcciones: de atrás hacia adelante –del conocimiento al estado actual– para lograr cambios estructurales a largo plazo, y de adelante hacia atrás –del estado actual al conocimiento– para mejorar la situación a corto y mediano plazo. El eslabón medio, el de los estímulos, es el pivote sobre el que se articula la actividad, pero el sentido en el que se aborda cambia su perspectiva y afecta en la calidad: si la cadena se aborda hacia adelante los estímulos son consecuencia de la cultura y sus valores, con una inercia muy profunda; por otro lado, si se aborda hacia atrás los cambios se relacionan con preocupaciones más apremiantes que se tienen que enfrentar independientemente de las inercias que llevaron al estado actual.

En este texto entendemos como *Políticas* a aquellas directivas que surgen de la preocupación de mejorar el estado actual a corto y mediano plazo, independientemente de las inercias que conllevan al mismo. Aunque estos cambios pueden ser efímeros si no van acompañados de iniciativas de largo aliento, responden a necesidades inmediatas de la sociedad. Para articularlos hay que estimular las acciones tendientes a mejorar el estado e inhibir aquellas que resultan en lo que se quiere superar. En este contexto se ubican las políticas de evaluación y estímulos.

Por su parte, entendemos por *estrategias* aquellas directivas que van dirigidas a cambiar las inercias sociales de las que resultan las valoraciones actuales: la educación incide directamente en lo que valoramos. Por ejemplo, valoramos la comercialización y uso de la tecnología, pero no valoramos su creación, ni el de-

sarrollo tecnológico, porque no lo conocemos ni comprendemos con suficiente profundidad. Por lo mismo, los estímulos para el desarrollo tecnológico vienen normalmente de la percepción de las limitaciones del estado actual, pero no son consecuencia natural del entorno social, y en esa medida se prestan a responder a intereses particulares y pueden incluso entrar en conflicto con las inercias culturales. Por lo mismo, las estrategias para mejorar el estado de la Computación se enfocan en las acciones a largo plazo en el ámbito de la cultura y el sistema educativo, para cambiar las valoraciones y estimular acciones que resulten en un mejor estado, de más calidad, de la Computación en México.

## 2. El estado de la comunidad de Computación en México

En este capítulo presentamos un panorama del estado de la comunidad de Computación en México en el contexto del entorno de esta disciplina como se anticipó en el capítulo 1, así como una reflexión acerca de la situación actual y del nivel deseado para la Computación en los próximos años. De tal manera que este análisis permita responder a las retos nacionales que lleven a posicionar al país como un exportador de tecnología e innovación y un formador de computólogos de nivel internacional.

Primeramente, describimos de manera cualitativa los elementos que consideramos integran la comunidad de Computación en el país, nos apoyamos en estadísticas generales que muestran la situación actual, y seguimos con un ejercicio de prospectiva para los siguientes cinco a diez años de acuerdo con las tendencias observadas y con las metas requeridas para el desarrollo de la disciplina.

Posteriormente analizamos las relaciones que guardan los elementos de la comunidad con los insumos del ecosistema de Computación descritos en el capítulo 1. Finalmente, hacemos un comparativo de la producción científica en Computación en México con respecto a la de otros países con economías semejantes. Los elementos que consideramos integran la comunidad de Computación en México incluyen personas, organizaciones y resultados e insumos e infraestructura, como se describe a continuación.

## 2.1. LAS PERSONAS

### 2.1.1. Los computólogos

El talento humano es el elemento fundamental para el desarrollo de cualquier institución o sociedad, y el caso de la Computación no es la excepción. Por computólogos entendemos el conjunto de profesionales que realizan actividades en el campo de la Computación, ya sea que se realicen en universidades, centros de investigación, empresas, instituciones de gobierno o de manera independiente. Entre estas actividades llevadas a cabo por los computólogos se encuentran las siguientes: a) actividades académicas orientadas a la formación de recursos humanos de posgrado y licenciatura en Computación; b) actividades de investigación orientadas a la producción de publicaciones científicas en el campo de la Computación; c) actividades de innovación, generación, desarrollo y transferencia de tecnología computacional; d) actividades de consultoría y servicios especializados en Computación. No incluimos entre los computólogos a las personas dedicadas a la venta y comercialización de productos y servicios generales en Tecnologías de Información y Comunicaciones (TICs), lista que sería sumamente extensa y que ya está documentada por otras instancias profesionales y de gobierno. De acuerdo con cifras del INEGI, de CONACyT y de otras instituciones, se estima que la población de computólogos en el país es de alrededor de 16,600 profesionales, de los cuales el 85% se dedica a actividades docentes; el 8% a actividades de innovación y transferencia de tecnología, particularmente en la generación de software y soluciones para empresas y bancos; el 4% a actividades de investigación, y el 3% a actividades de consultoría. La población estudiantil de Computación es de aproximadamente 240,000 alumnos de licenciatura y de posgrado, con una razón de alrededor de 18 alumnos por profesor.

### 2.1.2. Los miembros del Sistema Nacional de Investigadores en Computación

Como se mencionó en el capítulo 1, un impulsor del desarrollo de las actividades científicas en el país fue la creación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) a principios de los ochenta. El SNI cuenta actualmente con siete áreas, y

aunque la mayoría de los computólogos investigadores se ubican en el área 7 de ingenierías, existen investigadores en Computación en cada una de las otras seis áreas. De acuerdo con estadísticas de CONACyT, el número estimado de computólogos en el SNI es de alrededor de 500 de un total de 23,316 investigadores en el país en el 2015, lo que da un porcentaje del 2.1% del total nacional, y de los cuales, alrededor del 85% se encuentran en el área 7. La distribución aproximada de los 500 SNI en Computación por candidatos y niveles 1, 2, 3 es 170, 250, 60 y 20 respectivamente. Comparado con la media nacional que muestra una distribución Gaussiana con media superior a 1 con respecto al nivel del SNI —y asignando un valor de 0.5 a los candidatos— la media de los computólogos en el SNI es inferior a 1, lo que muestra que la investigación en Computación tiene un nivel de maduración menor comparado con disciplinas tradicionales.

Creemos que la Computación en el país tiene el talento y los medios suficientes para duplicar el número actual de investigadores en el SNI para el año 2020 y para cuadruplicarlo para el 2025, aumentando proporcionalmente la cantidad en cada uno de los cuatro niveles, de tal manera que la media de la disciplina sea mayor que uno y superior a la media nacional. Esto traerá como consecuencia un mejor posicionamiento y credibilidad de la Computación dentro de los círculos científicos del país y permitirá realizar una de las propuestas que se le planteó a CONACyT hace algunos años, y que consiste en crear el área 8 del SNI para agrupar a los computólogos del país diseminados actualmente en las siete áreas. Creemos que el crecimiento mencionado es posible debido al mayor número de jóvenes que están realizando estudios de Computación tanto en México como en el extranjero, al mayor número de programas en Computación acreditados como programas de calidad, y al mayor número de empresas que están realizando investigación aplicada y desarrollo tecnológico en el área de las TICs.

Actualmente, la totalidad de los computólogos en el SNI se encuentran en instituciones académicas y los institutos y centros de investigación. No se cuenta con computólogos que estén en el SNI y que trabajen en empresas o se desempeñen como consultores, a menos que estén afiliados a una institución académica que les extienda una carta de adscripción en la que muestren que dedican 20 o más horas de actividades de investigación para la institución. De la misma



manera, alrededor del 97% de los computólogos en el SNI pertenecen a instituciones académicas o centros de investigación públicos y el 3% que trabajan en instituciones académicas privadas que han firmado convenio con el CONACyT para otorgar el estímulo al investigador. Este estímulo pasó de 0% al 30% en el 2008, y a 100% a partir de 2014. Este puede ser un incentivo para que aumente el número de computólogos de instituciones privadas en el SNI, aunque las condiciones de trabajo en estas instituciones, con algunas excepciones, no son las más apropiadas para el desarrollo de la investigación en general.

Otra tarea pendiente en la evaluación de los computólogos en el SNI en las distintas áreas es darle el peso adecuado a los desarrollos tecnológicos y al patentamiento, como se explicó en el capítulo 1, con el propósito de crear los estímulos que alienten el diseño, desarrollo y exportación de productos tecnológicos computacionales de valor agregado a través de la creación de empresas basadas en tecnologías computacionales.

Otro elemento a considerar en el tema del talento en la disciplina es la diáspora computacional, es decir, los investigadores mexicanos destacados que laboran en el extranjero. Éstos trabajan en universidades y centros académicos como profesores de Computación y temas relacionados, o bien, laboran en empresas tecnológicas como Microsoft, Apple, Google, Oracle, Cisco, por mencionar sólo algunas, en proyectos de desarrollo tecnológico. También tenemos casos de computólogos que trabajan en instituciones de gobierno o agencias internacionales como la ONU, el Banco Mundial u Organizaciones no Gubernamentales (ONGs). El SNI otorga un nombramiento honorífico a los investigadores en Computación que cumplen con sus requisitos. El número actual de investigadores con este reconocimiento es de 566 y de los cuales aproximadamente 20 son computólogos; sin embargo, el número real de computólogos en el extranjero es mucho mayor, por lo que los que reciben el reconocimiento pueden aumentar, si se lleva a cabo una promoción adecuada de los beneficios que esto trae tanto para los investigadores como para el país.

## 2.2. LAS ORGANIZACIONES

### 2.2.1. Las instituciones académicas

Las instituciones académicas –típicamente universidades públicas y privadas– han jugado un rol fundamental en el desarrollo de la Computación en el país y son un elemento importante de la comunidad de Computación. Como ya se explicó en el capítulo 1, fue la UNAM quien trajo la primera computadora a México a fines de los cincuenta, y permitió de esta manera que el país tuviera un rol activo en la gestación de la revolución informática cuyas bases teóricas se establecieron en las décadas de los treinta y cuarenta con los trabajos de Kurt Gödel, Alan Turing, John Von Neumann y otros pioneros. Otras universidades que tuvieron un papel importante en el despegue de la Computación en el país fueron el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), quienes iniciaron los primeros programas académicos de licenciatura y de posgrado de esta disciplina en los sesenta. También hubo empresas industriales que tomaron iniciativas para explorar el impacto que podrían tener las nuevas tecnologías computacionales en sus procesos productivos a fines de los cincuenta. Un ejemplo de ello fue la computadora IBM 630 adquirida por la empresa regiomontana HYLISA del Grupo ALFA para hacer más eficientes sus procesos administrativos como la nómina, los inventarios y las ventas. Actualmente, hay más de 200 instituciones de educación superior que ofrecen programas de doctorado o maestría en Computación e Informática, de las cuales, alrededor de la mitad se ubican en Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León.

Además de las universidades, hay otras instituciones de investigación que ofrecen programas académicos en Computación, como el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), así como los centros de investigación descentralizados como el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) por mencionar sólo algunos. Se estima que el número de centros que realizan investigación en Computación es de alrededor de 30.

Finalmente, consideramos también centros o laboratorios en empresas que realizan investigación aplicada orientada a la generación de tecnologías de cómputo. Entre estos centros tenemos al Laboratorio Nacional de Informática Avanzada (LANIA) y a grupos en empresas de software como Softek, TCA, MIGESA y otras. Por otra parte, además del desarrollo de sistemas operacionales, existen grupos de desarrollo de tecnologías computacionales aplicadas en empresas como Telmex, Grupo Carso, BBVA Bancomer, Banamex, Grupo Nacional Provincial y Banorte, entre muchas otras, así como empresas de software y hardware que incluyen a Microsoft, Oracle, Google, Cisco, Intel y muchas otras.

### 2.2.2. Los programas académicos de posgrado en Computación

Los programas académicos de doctorado y maestría en Computación se ofrecen típicamente en las instituciones de educación superior mencionados en la sección anterior. El criterio de calidad en el país lo determina la acreditación que otorga el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT. A fines de 2015 el número de programas de doctorado en Computación acreditados por el PNPC fue de 16 y los de maestría en ciencias de 32. Estos son números significativamente bajos para el tamaño del país y para la importancia estratégica que tiene la Computación en el desarrollo de la competitividad de las naciones.

Requerimos un nuevo modelo de diseño curricular de programas de posgrado en Computación que infundan en los egresados los conocimientos y habilidades (las llamadas *hard* y *soft skills*) requeridos para llevar de la mano la capacidad para generar conocimiento original publicable en las mejores revistas de la disciplina, la innovación tecnológica en productos computacionales de alto valor agregado, y la incubación de empresas de base tecnológica que comercialicen productos tecnológicos, desde que el estudiante inicia sus estudios de maestría o doctorado. Un ejemplo de este tipo de modelos es el Programa de Incubación de Empresas de Base Tecnológica para alumnos de doctorado que implementó el Tecnológico de Monterrey en 2010 en sus programas doctorales; éste incluyó el Doctorado en Tecnologías de Información y Comunicaciones (DTC) que ha recibido más de 50 proyectos de incubación y ha generado alrededor de 20

compañías que ya están en operación. Algunas de estas empresas han conseguido financiamiento y capital de riesgo por varios millones de pesos y ya están operando y exportando en alianza con socios extranjeros. Sin embargo, el DTC salió del PNPC en 2013 a pesar de tener una planta académica consolidada con más de 25 profesores –de los cuales 70% son miembros del SNI– alta eficiencia terminal y un buen nivel de publicaciones indizadas. Por eso es que requerimos un nuevo modelo de diseño curricular de programas de posgrado y nuevos criterios de evaluación.

### 2.2.3. Las instituciones privadas y públicas

Las instituciones privadas y públicas más importantes en México desarrollan aplicaciones de Computación para apoyar sus procesos de negocio que incluyen sistemas de información para manejo de inventarios, producción, ventas, cartera de clientes, distribución y ruteo, y algunas otras aplicaciones que implican procesos internos de innovación y eficientización desarrollados por las propias instituciones. Estas empresas son de los sectores de manufactura, telecomunicaciones, banca, seguros, finanzas, energía, por mencionar los principales sectores. Entre estas empresas podemos mencionar a TELMEX, BBVA Bancomer, GNP, CFE, Ternium, CEMEX, FEMSA, Grupo BAL y muchas otras instituciones públicas y privadas.

### 2.2.4. Las sociedades científicas y los grupos de investigación

Las sociedades científicas relacionadas con la Computación han contribuido a su posicionamiento en el entorno científico nacional, aunque de manera limitada. La razón es la poca visibilidad que tiene esta actividad comparada con el enorme impacto económico, comercial y social que han tenido las TICs en las últimas décadas. Las principales asociaciones científicas en Computación incluyen a la Academia Mexicana de Informática A. C. (AMIAC), la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA), la Sociedad Mexicana de Ciencias de la Computación y otras asociaciones interdisciplinarias.

La AMIAC es una asociación civil pionera en el área de la Computación en México. Fue fundada el 7 de septiembre de 1976 con el propósito principal de

agrupar a los informáticos de mayor relevancia en nuestro país. En la AMIAC participan profesionistas dedicados a actividades científico-académicas; profesionistas destacados en la aplicación de la Computación en instituciones privadas o públicas, y funcionarios de gobierno relacionados con esta disciplina. La AMIAC ha otorgado el Premio al Mérito Informático en un par de ocasiones a partir de 1992 y organiza conferencias y seminarios mensualmente para tratar temas de interés para líderes empresariales, gubernamentales y académicos relacionados con las TICs.

La SMIA fue creada a principios de los ochenta y organizó desde entonces la Reunión Nacional de Inteligencia Artificial (RNIA) hasta el año 2000 cuando se fusionó con el *International Symposium on Artificial Intelligence* (ISAI) del Tecnológico de Monterrey, para dar lugar a la conferencia *Mexican International Conference on Artificial Intelligence* (MICAI), la cual ha venido organizándose primero cada dos años y a partir de 2004 anualmente. Las memorias de esta conferencia se publicaron desde el inicio en la serie *Lecture Notes on Artificial Intelligence* de la compañía Alemana *Springer-Verlag*, lo cual le dio visibilidad internacional a los trabajos producidos por computólogos mexicanos activos en Inteligencia Artificial (IA). A la fecha, la conferencia se continúa organizando cada año. Periódicamente se generan números especiales de los mejores trabajos de MICAI que se han publicado en revistas de gran prestigio internacional como *Expert Systems with Applications* y *Knowledge and Information Systems*.

A través del CINVESTAV, del ISAI y de MICAI fue posible traer al país a figuras mundiales de la ciencias de la Computación, como John McCarthy y Marvin Minsky, fundadores de la IA; Edward Feigenbaum, iniciador de los Sistemas Expertos y Sistemas Basados en el Conocimiento; Lotfi Zadeh, iniciador de la Lógica Difusa y Computación Inteligente, y a muchas personalidades. La SMIA también apoyó la organización del *World Congress Expert Systems* realizado en la Ciudad de México en 1998 y la *International Joint Conference on Artificial Intelligence* (IJCAI) que se llevó a cabo en el Centro de Convenciones de Acapulco en 2003, las cuales atrajeron cientos de investigadores internacionales a nuestro país.

La Sociedad Mexicana de Ciencias de la Computación (SMCC) se estableció en 1997 para agrupar a investigadores en Computación que trabajaban en áreas

diferentes a la IA. La SMCC viene realizando desde entonces el Encuentro Nacional de Computación (ENC) con la publicación de los trabajos en memorias nacionales y en algunas ocasiones a través del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Otra sociedad científica en Computación es la Asociación Mexicana de Visión por Computadora, Neurocómputo y Robótica, la cual organiza anualmente la Conferencia Mexicana en Reconocimiento de Patrones.

El trabajo interdisciplinario es muy importante y la Computación no es una excepción. Podemos mencionar los proyectos conjuntos que se llevan a cabo en el país entre instituciones nacionales e internacionales con sinergia entre la Computación y diversas disciplinas como Bioinformática, Genética Computacional, Investigación de Operaciones, Robótica y Reconocimiento de Patrones, Electrónica, Biología, Química y Astrofísica, por mencionar sólo algunas de las áreas activas en proyectos de investigación, publicaciones conjuntas y conferencias científicas organizadas en México.

Asimismo, existen distintos grupos de investigación interinstitucionales que han surgido a lo largo del tiempo para realizar investigación en diferentes temas de Computación. Entre éstos podemos mencionar los que surgieron de la Red de Desarrollo e Investigación en Informática (REDII) financiada por CONACyT a fines de los noventa, en la cual participaron las principales instituciones e investigadores del país para tratar temas como Bibliotecas Digitales, Sistemas Multiagente, Visión Computacional, Computadoras en la Educación y algunos otros. A fines de 2008 CONACyT lanzó una nueva convocatoria para integrar redes temáticas de investigación en distintas disciplinas que incluyen a la Computación y de la cual se formó la Red Temática de Investigación en Informática con la participación de las principales instituciones e investigadores del país para tratar temas de Inteligencia Artificial y vinculación con la industria. En esta línea podemos mencionar también a la Red Mexicana de Investigación y Desarrollo en Computación (REMIDEC) que se fundó en el 2008 en torno a los eventos conmemorativos de la introducción de la primera computadora a México en 1958 para hacer una reflexión retrospectiva y prospectiva acerca de esta disciplina científica y tecnológica, y para integrar y fomentar la vida colegiada de la comunidad, la cual se constituyó formalmente como la Academia Mexicana de Computación A, C. a principios de 2015.

## 2.2.5. Las instituciones de Gobierno

Los computólogos en el país interactúan con varias agencias de gobierno entre las que ya se han mencionado al CONACyT, a través de sus diferentes direcciones adjuntas incluyendo al SNI, otras instituciones de gobierno como el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), el Instituto Nacional de Emprendedores (INADEM) y los fondos sectoriales de las distintas secretarías de estado, así como los fondos mixtos con los gobiernos de los estados. Mencionamos también algunos programas de gobierno relacionados con la Computación como INFOTEC y PROSOFT.

INFOTEC es un centro público de investigación del CONACyT que realiza labores de investigación y desarrollo tecnológico para los sectores público y privado del país, y cuenta con una oferta académica de maestrías dirigidas a desarrollar las habilidades y competencias que las TICs demandan.

PROSOFT es un Programa para el Desarrollo de la Industria del Software de la Secretaría de Economía, creado en 2004 como parte de una política pública para el fomento del sector de Tecnologías de la Información (TI) en México. En 2008, el fondo PROSOFT adquirió un mayor impulso debido a un préstamo del Banco Mundial que tuvo como objetivo promover el desarrollo de las TIs en el país. Para ello surgió PROSOFT 3.0 cuya misión es tener un sector de TIs fuerte y global que incremente la productividad y capacidad de otros sectores para innovar. Con este propósito se establecieron ocho estrategias de fomento al desarrollo del sector de TI: 1) talento de excelencia; 2) innovación empresarial; 3) globalización; 4) regionalización inteligente; 5) certeza jurídica; 6) financiamiento accesible; 7) mercado digital; y 8) gobernanza. El programa está actualmente vigente.

## 2.3. LOS RESULTADOS E INSUMOS

### 2.3.1. La producción científica en Computación

La métrica para medir la cantidad y el impacto de las publicaciones científicas de un profesor, un grupo, una institución o un país son las citas que éstas reciben por la comunidad científica internacional. El medio de difusión son las revistas indizadas para cada disciplina, ya sean revistas tradicionales o de acceso abierto, y las plataformas para llevar la medición son las bases de datos cientiométricas que llevan los registros de los investigadores, de las revistas, de las disciplinas, de las instituciones, así como de los países y regiones del mundo.

Existen métricas como el factor de impacto de una revista que mide las citas que reciben los artículos publicados en la misma a lo largo del tiempo. Por ejemplo, un factor de impacto de 2 indica que los artículos de la revista reciben dos citas en promedio en un período determinado. Existe también el índice H que se aplica a un investigador, institución o país, y que indica el número de artículos que han recibido H o más citas a lo largo del tiempo. De la misma manera existen métricas como el factor de impacto normalizado que permite hacer comparaciones entre disciplinas que tienen distintos patrones de citación. Por ejemplo, en Medicina los artículos pueden tener índices de impacto de 30 en promedio, mientras que en los artículos de una disciplina de las Ciencias Sociales el índice de factor impacto puede ser de 2 ó 3, por lo cual no son directamente comparables, a menos que se normalicen y el 3 se haga equivalente a 30. En Computación, los índices de citación más altos son de alrededor de 4 ó 5, y un factor de impacto de 2 ó 3 se considera bastante aceptable.

Con respecto a las bases de datos cientiométricas, las más populares son el *Web of Science* (WoS) de Thomson Reuters y *SCOPUS* de Elsevier. WoS es utilizada por CONACyT para medir y evaluar periódicamente la productividad de los investigadores. También se utiliza por agencias de *rankings* como *Academic Ranking of World Universities* de Shanghai y *US News* de los Estados Unidos, mientras SCOPUS se utiliza por las agencias *QS* y *TIMES Higher Education* para generar sus indicadores, los cuales incluyen a la Computación. De acuerdo a QS,



la universidad número uno del mundo en Computación en 2015 es el Massachusetts Institute of Technology (MIT) seguida por las universidades de Stanford, Oxford, Carnegie Mellon y Harvard. En México, la universidad mejor clasificada en Computación es la UNAM que ocupa el rango 101-150 del mundo, seguida por el IPN (101-150) y el Tecnológico de Monterrey (201-250).

El Informe General de la Ciencia y la Tecnología 2013 del CONACyT muestra que en México se publicaron 11,547 artículos indizados por WoS con un crecimiento del 3% con respecto al año anterior, de los cuales 187 son de Computación (1.6%) con un crecimiento del 47% con respecto al año anterior. En lo referente a las citas, éstas toman hasta 10 años en reflejarse. En 2006 los artículos publicados en México recibieron 99,565 citas de las cuales sólo 1,059 se hicieron a artículos de Computación (1.06%).

Estas estadísticas nos indican que la producción científica en Computación es baja comparada con otras disciplinas en el país, pero tiene un gran potencial de crecimiento por la cantidad de recursos humanos que se están formando en México y en el extranjero, y estos números pueden tener un factor multiplicativo de cuatro o cinco veces en los próximos 5 a 10 años. Como ya se mencionó, son muy pocos los investigadores mexicanos que publican en las mejores revistas de Computación como los *Transactions* de la Association for Computing Machinery (ACM) o los de la IEEE, o las revistas *Artificial Intelligence*, *PAMI* o *Computational Linguistics* por mencionar algunas de las más importantes. A nivel nacional, CONACyT administra el Padrón Nacional de Revistas de Excelencia para lo cual otorga ciertos apoyos económicos a los editores. Una de las pocas revistas de Computación en este padrón es la Revista Computación y Sistemas que edita el Centro de Investigación en Computación del IPN.

Presentamos ahora un comparativo del estado de la Computación en México en términos de publicaciones científicas en WoS con respecto a otros países y, en particular, con respecto a España, Brasil, Argentina y Chile. Como contexto, diremos primero que en 2013 se publicaron 1,382,946 artículos a nivel mundial, de los cuales 11,547 son de autores Mexicanos (0.83%). España produjo 55,096, Brasil 38,523, Argentina 8,418 y Chile 6,322. En el área de

Computación, México produjo el 0.42% de la producción mundial de artículos en el período 2009-2013. Hay que señalar que España y Brasil duplicaron esta cantidad y aunque superamos a Argentina y Chile estos países nos superan en la producción *per capita*.

Podemos decir que los países latinoamericanos adolecen de una problemática semejante a la que se enfrenta México, sin embargo, se alcanzan a vislumbrar algunos despegues en innovación tecnológica en países como Brasil y España. Esto se debe principalmente a que existe una agenda nacional liderada por el gobierno el cual convoca a los diferentes sectores de la sociedad a unirse a un proyecto nacional que a la larga redundará en su beneficio. Nos parece que estas son lecciones importantes que se deben estudiar y aprender, pero sobre todo, poner en la práctica con la participación de los diferentes sectores económicos y sociales.

### 2.3.2. Las empresas de innovación y el emprendimiento con base tecnológica en Computación

Se señaló ya en el capítulo 1 que la innovación y el desarrollo tecnológico en Computación son tareas pendientes en México, dado que su nivel actual es bajo y no contribuye de manera significativa a la competitividad del país en materia tecnológica. El Informe General de Ciencia y Tecnología 2013 del CONACyT y el informe del IMPI muestran que en ese año se solicitaron o concedieron 15,444 patentes, de las cuales, 1,245 corresponden a mexicanos (7.8%) y el resto a extranjeros. El número de patentes mexicanas en Computación es muy bajo, debido, en parte, a un mal entendido y a la creencia de que el software sólo se puede proteger como derechos de autor. Aunque un software por sí mismo no es objeto de patentamiento de acuerdo con las reglas de la propiedad intelectual (PI); sin embargo, cuando éste sobreviene asociado a un dispositivo físico, la combinación software-dispositivo sí es patentable. Un ejemplo de esto es una patente desarrollada en el Tecnológico de Monterrey sobre un software que monitorea y evalúa la aplicación de exámenes a distancia utilizando dispositivos computacionales. La patente se solicitó tanto en México como en Estados Unidos.

Pensamos que un nuevo diseño curricular de los planes de estudio en Computación debe traer como parte integral el conocimiento de las reglamentaciones de PI y el desarrollo de habilidades de protección y comercialización de software a través de sus distintas figuras, como los son las patentes, los modelos de utilidad, los diseños y las marcas. Actualmente existen empresas mexicanas especializadas en desarrollo de software que han sido exitosas en generar soluciones innovadoras y en exportar productos y servicios como los casos de Softtek y Tecnología Computacional Avanzada (TCA). Sin embargo, el país tiene el talento y la capacidad para incentivar la creación de una nueva generación de empresas con capacidades de innovación tecnológica con impacto global.

Con respecto al emprendimiento de base tecnológica, las estadísticas publicadas por el INADEM muestran un aumento considerable del número de incubadoras en el país en donde se está creando una cantidad importante de nuevas empresas, muchas de las cuales son del campo de la Computación. Una razón de esto que ya se explicó con anterioridad es la relativamente baja inversión requerida para crear un negocio de TICs. Actualmente, hay un número creciente de empresas formadas por grupos de cuatro o cinco profesionistas o estudiantes que ofrecen servicios y soluciones informáticas en varias modalidades como el desarrollo de aplicaciones (APPs) para dispositivos móviles; para servicios de seguridad informática y ciberseguridad; para el desarrollo de software para drones y robots móviles; y el desarrollo de plataformas ERPs, así como otras tecnologías computacionales. Pero se requieren más empresas que aporten innovación disruptiva y no sólo aplicaciones y soluciones particulares. Nos parece que éste es un dato alentador que nos hace pensar que en el futuro será posible incidir positivamente con empresas TICs que generen innovación computacional que eventualmente impacten en la balanza de pagos tecnológica mediante el crecimiento de este tipo de empresas. Esto se debe incentivar desde que el alumno inicia sus estudios de licenciatura o posgrado en Computación o campos afines. Este punto también es tema de reflexión para un nuevo modelo de planes de estudio en Computación a nivel nacional.

### 2.3.3. La infraestructura

La infraestructura consiste en los dispositivos e instalaciones para el desarrollo de tecnología computacional, así como el equipo de cómputo que se utiliza para apoyar las actividades científicas, educativas y administrativas del ecosistema. Típicamente, la infraestructura se encuentra en las principales instituciones académicas y centros de investigación públicos y privados, así como en algunas empresas tecnológicas. La infraestructura se financia principalmente con fondos públicos como los otorgados por el CONACyT, los diversos sectores y las instituciones académicas. Hay que resaltar el programa de CONACyT de apoyo a la infraestructura cuyo objetivo es proveer de dispositivos y equipos especializados a las instituciones de ciencia, tecnología e innovación para expandir sus capacidades de servicio técnico, académico y de investigación con estándares de calidad internacional. Con este programa se han apoyado laboratorios nacionales como el Laboratorio Nacional de Internet del Futuro, el Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño, el Laboratorio Nacional de Supercómputo del Sureste de México, el Laboratorio Nacional de Tecnologías de Información, el Laboratorio Nacional de Supercómputo y el Laboratorio Nacional de Robótica del Área Noreste y Centro de México.

## 2.4. CONEXIONES DE LA COMUNIDAD DE COMPUTACIÓN CON EL ECOSISTEMA

Procedemos ahora a analizar las conexiones de la comunidad con el entorno presentado en el capítulo 1, en lo referente a los insumos para el mercado computacional en temas de innovación y desarrollo de tecnologías computacionales de valor agregado, así como en lo referente al suministro de recursos humanos para la operación de las fuerzas de este mercado. Como ya se ha argumentado, el peso específico de la investigación, innovación y transferencia de tecnología que se lleva a cabo en el país es bajo comparado con el valor económico que tienen las fuerzas del mercado de las TICs. De la misma manera, la cantidad de computólogos investigadores es baja cuando se le compara con la cantidad de docentes a lo largo del país que preparan licenciados para operar los sistemas computacionales de las empresas, bancos e instituciones de gobierno.

Pero no sólo se les prepara para operar los sistemas, ya que muchos de los egresados se integran a grupos de desarrollo en las propias empresas y ahí hacen diseño, desarrollo, pruebas e implantación de aplicaciones informáticas para apoyar a los objetivos de la organización.

Entre las instituciones del primer insumo podemos ubicar a las cámaras de la industria de software y de las telecomunicaciones, las empresas telefónicas, los distribuidores de equipo computacional, los distribuidores de soluciones empresariales tipo *Enterprise Resource Planning* (ERP) y *Customer Relationship Management* (CRM), los clusters de software y otros más. Con respecto al segundo insumo consistente en la formación de recursos humanos, la tarea para incidir en el mejoramiento de la calidad de los programas académicos de licenciaturas en Computación e Informática y la capacitación de la planta académica luce como una tarea monumental, pero de realizarse, traerá grandes beneficios para la competitividad del país en materia de innovación tecnológica.

## EPÍLOGO

Hemos presentado en este capítulo una descripción cualitativa de la comunidad de Computación en el país apoyándonos en algunas estadísticas generales que muestran la situación que guarda México en cada uno de los diferentes elementos que conforman la comunidad. Asimismo, hemos realizado algunas proyecciones del estado deseado de la comunidad, así como del entorno nacional de la Computación que pensamos son deseables y que podrán coadyuvar a un mayor nivel de desarrollo y competitividad del país con beneficios para toda la sociedad.

Esperamos que esta descripción y análisis contribuya de alguna manera a hacer conciencia del potencial que tenemos como país y, desarrollar el inmenso talento que posee la mayoría de las nuevas generaciones de mexicanos en el campo de la Computación y áreas afines.

## 3. Políticas de evaluación y estímulos

### 3.1. INTRODUCCIÓN

La evaluación y estímulos son muy importantes en todas las áreas y en todos los niveles, ya que condicionan fuertemente la conducta de las personas, los grupos y las instituciones: las acciones se orientan a lograr lo que se valora y estimula, y a la vez se desmotiva lo que no se valora.

En este capítulo nos enfocamos a la evaluación y estímulos relacionados al área de Computación, con el énfasis en el ámbito de la Academia Mexicana de Computación, como se definió en el capítulo 1: investigación, desarrollo tecnológico y educación a nivel posgrado. En este ámbito, la evaluación debe estar orientada a lo que se quiera lograr tanto a nivel nacional como a nivel institucional. De acuerdo con las reflexiones del capítulo 1, lo que quisiera la comunidad que engloba la Academia es:

- Realizar investigación de calidad que tenga un impacto importante tanto a nivel nacional como internacional, y de la cual se derive tecnología e innovación relevante.
- Desarrollar tecnología computacional que lleve al país a ser no sólo consumidor sino productor de tecnología, contribuyendo de esta forma a la generación de riqueza y finalmente a la mejora del nivel de vida de la población en México.

- Formar recursos humanos de alto nivel en Computación que contribuyan a la investigación científica y al desarrollo tecnológico, así como a la formación de los profesionistas y técnicos que requieren las empresas y el gobierno.

La evaluación en los aspectos de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos de alto nivel en Computación es compleja por diversas razones, entre las que podemos destacar:

- La Computación es tanto una ciencia (que estudia los procesos computacionales) como una ingeniería (que se enfoca al diseño y desarrollo de sistemas, programas, artefactos, etc.), de forma que la evaluación debe tomar en cuenta ambos aspectos, los cuales, idealmente, deben verse de manera holística y no por separado. Un ejemplo de esta dificultad son los premios de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), donde se distinguen por un lado las ciencias básicas (Matemáticas, Física, Biología, etc.) y por el otro Ingeniería y Tecnología. Para la AMC no es claro en qué área ubicar a un computólogo.
- La Computación es un área de conocimiento relativamente nueva, dinámica y posee mecánicas y costumbres diferentes a la mayoría de las áreas de conocimiento más establecidas. La evaluación en Computación debe tomar en cuenta estas diferencias y no querer forzar criterios de otras áreas. Un ejemplo para ilustrar esto es la evaluación de los computólogos en el SNI. En muchas áreas de conocimiento se considera que las participaciones en congresos no son muy relevantes en cuanto a su nivel de exigencia e impacto, por lo que no se toman en cuenta en la productividad científica. En Computación sucede lo contrario: las publicaciones en los “buenos” congresos tienen un nivel de exigencia muy alto y un gran impacto en la comunidad. El SNI, al no tomar en cuenta las publicaciones en congresos, está aislando a la comunidad mexicana de la internacional y limitando su impacto.

Dadas las razones anteriores, es importante revisar y adecuar las evaluaciones y estímulos en Computación para fomentar lo que queremos lograr: investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos de alta calidad e impacto internacional. En el resto de este capítulo realizamos un diagnóstico de la situación actual de la evaluación en Computación a tres niveles: i) la evaluación a nivel personal de los profesores, investigadores y/o tecnólogos; ii) la evaluación a nivel de grupos, por ejemplo departamentos, cuerpos académicos y proyectos; y iii) la evaluación a nivel institucional, enfocándonos a universidades e institutos de investigación. Más que dar una serie de cifras que se pueden consultar en otras fuentes, el enfoque del diagnóstico es una visión cualitativa de la comunidad; una reflexión sobre el estado actual y lo que podemos hacer para mejorarlo. Dada la importancia del SNI, que constituye un referente respecto a la evaluación en diferentes niveles, iniciamos con la presentación de un breve análisis del SNI y su impacto en la evaluación de la investigación en México.

### 3.2. EL SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGADORES COMO REFERENTE EN LA EVALUACIÓN

El Sistema Nacional de Investigadores surge en 1984 como una respuesta a la crisis económica en el país, la cual había disparado un proceso inflacionario que afectaba el ingreso de la mayor parte de la población. Esto se volvió crítico en el sector académico y de investigación, ya que estaba ocasionando un incremento importante en la fuga de cerebros. Por otro lado, hacía falta algún mecanismo que fomentara y evaluara la investigación en las universidades e institutos de investigación, ya que la producción científica y tecnológica era relativamente baja en la mayor parte de las instituciones.

El SNI evalúa la investigación científica, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos de los investigadores mexicanos que laboran en instituciones (universidades, centros de investigación y empresas) tanto en México como en el extranjero. Provee un reconocimiento a quienes realizan dichas actividades de acuerdo con la cantidad, calidad, impacto y reconocimiento de su trabajo en 4 grados de madurez: Candidato y Niveles I, II y III. Dicho reconocimiento se otorga con base en evaluaciones periódicas realizadas por comités de investiga-



dores del más alto nivel (III). Actualmente existen 7 comités que engloban en principio todas las áreas de conocimiento:

- Área I. Físico Matemáticas y Ciencias de la Tierra
- Área II. Biología y Química
- Área III. Medicina y Ciencias de la Salud
- Área IV. Humanidades y Ciencias de la Conducta
- Área V. Ciencias Sociales
- Área VI. Biotecnología y Ciencias Agropecuarias
- Área VII. Ingeniería y Tecnología

La mayor parte de los investigadores en Computación se evalúan en el Área VII (el investigador selecciona el área donde desea ser evaluado), aunque existen investigadores en Computación en prácticamente todas las áreas. Esto se debe a diversas razones, como veremos más adelante. Uno de los factores es que la división de las especialidades dentro de cada área se basa en un sistema de clasificación muy antiguo y obsoleto (sistema de clasificación Barros-Sierra), el cual se definió cuando aún no existía la Computación como una disciplina científica. No es claro por qué el SNI no actualiza este esquema, dada la naturaleza dinámica de las disciplinas científicas.

Además del reconocimiento, el SNI otorga a los investigadores que laboran en México un estímulo económico cuyo monto depende del nivel y está vinculado al salario mínimo. A través del tiempo, este estímulo se ha vuelto una parte significativa del salario de los investigadores, en particular en las instituciones públicas donde los salarios base son relativamente bajos.

Adicionalmente, el SNI se considera como un factor importante en otras evaluaciones del CONACyT, que es el organismo rector y principal patrocinador de la investigación científica y tecnológica en México. Éstas incluyen diferentes

tipos de evaluaciones, tanto a nivel individual como a nivel de grupo e institución; entre otras podemos destacar:

- La evaluación de proyectos en las diversas convocatorias del CONACyT, en particular las de ciencia básica.
- Las evaluaciones de los posgrados (Padrón Nacional de Posgrados de Calidad).
- Las evaluaciones de las Redes Temáticas del CONACyT.
- Las evaluaciones de diversas instituciones, como los Centros Públicos de Investigación del CONACyT, aunque se ha extendido a prácticamente todas las instituciones de investigación y educación superior en México.

Dado el impacto del estímulo del SNI en el salario de los investigadores, éste se ha vuelto un referente en la evaluación de la investigación en el país. Como se dijo en la introducción, los estímulos condicionan la conducta de las personas, grupos e instituciones, por lo que el SNI, para bien o para mal, se ha vuelto un factor determinante en el comportamiento de los investigadores en México. Esto ha tenido efectos positivos, pero también algunos negativos, como se analiza a continuación.

### 3.2.1. Impactos positivos y negativos del SNI

Entre los impactos positivos podemos destacar:

- Ha contribuido a profesionalizar la ciencia en México, principalmente al fomentar las publicaciones en revistas científicas. Esto ha sido uno de los factores determinantes en el aumento, en los últimos años, de la cantidad de publicaciones de mexicanos en revistas científicas.
- Ha ayudado a fomentar la investigación en las universidades del país, en especial en las públicas, así como la creación de cuerpos de evaluación en las universidades.

- Facilita la evaluación y comparación de los diversos entes científicos y educativos del país, incluyendo los cuerpos académicos, los posgrados y las instituciones.
- Aunque es difícil de cuantificar, ha cumplido hasta cierto grado su propósito original de retener a los científicos mexicanos en el país.

Entre los aspectos negativos podemos señalar:

- En varias instituciones, especialmente aquellas con menor tradición y experiencia en investigación, se ha vuelto el órgano rector. Incluso hay instituciones en las que los investigadores que están en el SNI reciben un estímulo monetario adicional. Se usa el criterio “si no tienes SNI, eres malo”.
- En algunos casos se ha vuelto un factor determinante para conseguir o mantener el empleo, substituyendo lo que debería basarse en criterios institucionales.
- Tiene un impacto determinante en las posibilidades para conseguir empleo por parte de los recién graduados de doctorado, especialmente en universidades y centros de investigación. Entonces, si la evaluación, por alguna razón no es muy “justa” para los investigadores recién graduados, esto ocasiona que se les vuelva muy difícil conseguir empleo, lo que ocurre frecuentemente en Computación, como veremos más adelante.
- Para las instituciones implica pérdida de autonomía, ya que sus prioridades se ven establecidas por un organismo externo, y para los investigadores ocasiona tensión al tener dos “jefes”: el institucional y el SNI.

Podrían hacerse ciertos cambios estructurales que aminoraran los efectos negativos como: i) aumentar el salario base de los investigadores en instituciones públicas, de modo que el impacto del SNI sea menor y se transforme más en un reconocimiento que en un complemento al salario; ii) establecer criterios de eva-

luación y políticas institucionales propias, que podrían considerar al SNI como un elemento, pero sin que se vuelva determinante y iii) adecuar los criterios de evaluación a las características propias de las diferentes disciplinas.

En el caso particular de Computación, el SNI ha tenido ciertos efectos no deseados, dada su naturaleza especial, lo cual no necesariamente es cierto para otras áreas. En la siguiente sección sobre la evaluación individual analizaremos estos efectos y propondremos alternativas.

### 3.3. EVALUACIÓN A NIVEL PERSONAL

En esta sección analizamos la evaluación de los computólogos a nivel individual; nos enfocamos en las personas que realizan labores de investigación científica, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos de alto nivel en universidades y centros de investigación. El número de investigadores en empresas es, desafortunadamente, muy pequeño en México, y sus criterios de evaluación son en general muy diferentes y específicos, por lo que no se consideran, por lo pronto, en este análisis.

Dado el impacto tan importante del SNI en las evaluaciones del personal científico-académico, éste tiene un aspecto preponderante en la sección, la cual dividimos en 3 partes: i) estado actual, ii) estado deseado y iii) recomendaciones.

#### 3.3.1. Estado actual

La comunidad científica en Computación es relativamente joven en México, aunque se ha incrementado significativamente en los últimos años. Se estima que hay cerca de 1000 doctores en Computación en México, de los cuales 500 son miembros del SNI (ver capítulo 2). Una parte significativa de esta comunidad se orienta a actividades académicas, atendiendo a los estudiantes de licenciatura y posgrado en los diversos programas del país. Un sector menor se enfoca en realizar investigación científica básica y aplicada en centros de investigación y algunas universidades, y otra parte, aún menor, realiza labores de desarrollo tecnológico y asesoría especializada.

El SNI se ha vuelto un factor muy influyente en la comunidad enfocada a la investigación, lo que ha impulsado las publicaciones en revistas científicas, así como la formación de recursos humanos especialmente de nivel posgrado. El impulso al desarrollo tecnológico ha estado rezagado, ya que en general no se ha evaluado adecuadamente, aunque recientemente ha habido cierto progreso en este aspecto con la creación de un comité *ad hoc* dentro del SNI para evaluar el desarrollo tecnológico.

Algunos aspectos que afectan la evaluación individual, especialmente en el Área VII del SNI, en la cual se encuentran la mayoría de los computólogos son:

- Los congresos de alto nivel son muy importantes en Computación. Estos consideran artículos en extenso que incluyen un arbitraje estricto y en buena medida es donde los investigadores de mayor prestigio en el mundo presentan los resultados de sus investigaciones.<sup>1</sup> En disciplinas más estables, la norma es publicar en revistas, pero en Computación, con su alta dinámica (se estima que la vida media de un concepto es de 5 años), es inaceptable el tiempo que se tardan las revistas (1 a 2 años) en evaluar y aceptar un artículo; en cambio, en los buenos congresos (aún en los más exigentes) esto no pasa de algunos meses. Desafortunadamente hay muy pocas publicaciones de investigadores adscritos a instituciones mexicanas en dichos congresos, por lo que si éstas se consideraran, el impacto en las evaluaciones no sería significativo. Pero como se resalta al principio del capítulo, las evaluaciones y estímulos condicionan la conducta; seguramente si se fomentan estos foros en el SNI, habría un aumento significativo en la presencia en dichos congresos y consecuentemente una mayor presencia en la comunidad internacional.
- Las evaluaciones tienden a basarse en criterios cuantitativos, en particular el número de artículos publicados en revistas indizadas. Esto ha

---

<sup>1</sup> B. Meyer, C. Choppy, J. Staunstrup, J. Van Leeuwen, Research Evaluation for Computer Science, Communications of the ACM, Vol. 52, No. 4, April 2009. Ver También: Research Evaluation Committee of Informatics Europe. Version 6.0, 20 May 2008: Research Evaluation for Computer Science: An Informatics Europe report, 2008.

fomentado la publicación de “el mínimo grado de contribución” en revistas de, en general, poco impacto, en lugar de artículos de mayor alcance en revistas de prestigio. Las evaluaciones deben fomentar la calidad más que la cantidad.<sup>2</sup>

- Las evaluaciones, especialmente en el Área VII del SNI, se basan en el índice *Journal Citation Reports* (JCR). Esto deja fuera muchas de las publicaciones relevantes en Computación, como congresos y libros, por lo cual no es un referente adecuado para el área. Esto se demuestra si se analiza el índice de cobertura (tanto el artículo que hace la cita como el citado están en revistas incluidas en el JCR), el cual es del orden del 80% al 90% para áreas como Biología, mientras que del orden del 40% para Computación.<sup>3</sup> Otro dato interesante es que si se analiza la lista de las personas más citadas en Computación según el *Institute for Scientific Information* (ISI), la mayoría son en realidad gente de otras áreas que tiene cierta relación con Computación; mientras que los más reconocidos en Computación (los ganadores del premio Turing) prácticamente no aparecen en esta lista.<sup>4</sup> Otro ejemplo es el del investigador Stuart Russel de la Universidad de California, en Berkley, EUA, uno de los investigadores más reconocidos con más de 10,000 citas, tiene menos de 15 publicaciones en revistas, muchas de ellas por invitación, y su impacto se debe en mayor parte a sus publicaciones en congresos y libros.
- Existe poco desarrollo tecnológico y en particular patentes, las cuales son muy importantes ya que son la base para la generación de tecnología propia. En parte, esto se debe a que tradicionalmente no se consideraban en las evaluaciones. El otro factor es que existe poca cultura de patentar en las organizaciones. Ambos aspectos están

---

<sup>2</sup> David Patterson (University of California, Berkeley), Lawrence Snyder (University of Washington), Jeffrey Ullman (Stanford University), Best Practices Memo: Evaluating Computer Scientists and Engineers For Promotion and Tenure, Computing Research Association, 1999.

<sup>3</sup> Ver nota 1.

<sup>4</sup> Idem.

cambiando con la inclusión del Comité Tecnológico en el SNI y la introducción de programas como el de las Oficinas de Transferencia de Conocimiento (OTCs).

- La publicación de libros, en particular de texto, tampoco se toma en cuenta en las evaluaciones, lo que ha ocasionado que se publiquen muy pocos libros en México. Esto resulta en una dependencia casi total de libros en inglés o en traducciones que muchas veces no son muy buenas. La generación de libros de texto, especialmente en español, es muy importante para apoyar a la educación en Computación de todos los niveles, incluso desde la educación básica y media.
- Otro tipo de eventos, como las competencias (por ejemplo de programación, de robótica, de búsqueda de información, etc.) se han vuelto muy importantes a nivel mundial. Permiten comparar diversos enfoques para resolver problemas, así como probar algoritmos en un ambiente más realista fuera del laboratorio. Generalmente esto tampoco se considera en las evaluaciones, y ocasiona poca participación de mexicanos en este tipo de eventos de carácter profesional.

En resumen, la forma en que se evalúa a los computólogos en general y en especial en el SNI, no es adecuada de acuerdo con las características del área. Esto afecta al desarrollo de la disciplina en nuestro país y a los investigadores en el área, y limita su impacto internacional y la generación de tecnología. En conclusión: i) la evaluación en general no es justa ya que no se consideran todos los productos relevantes, lo que frena el desarrollo y desmotiva a los investigadores; ii) se propicia el aislamiento y la falta de impacto de los investigadores mexicanos y iii) no se fomenta el desarrollo de artefactos de software novedosos que podrían tener un impacto significativo en el desarrollo económico del país, como sucede en India, Irlanda, Brasil y otros con grado de desarrollo similar al nuestro.

### 3.3.2. Estado deseado

Es necesario contar con un esquema de evaluación que considere las particularidades del campo y fomente investigadores con una visión holística que in-

corpore tanto la investigación como el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos. Idealmente un investigador en Computación debería:

- Realizar investigación de calidad que se publique en los mejores foros de su campo, incluyendo congresos y revistas.
- Desarrollar productos tecnológicos patentables.
- Formar recursos humanos de alto nivel mediante la dirección de tesis.
- Impartir cátedra a nivel licenciatura y posgrado.
- Escribir libros de texto.
- Participar en los congresos internacionales del más alto nivel de su área.
- Realizar difusión de la ciencia.
- Desarrollar proyectos de investigación con patrocinio externo.
- Participar en comités editoriales de revistas y congresos.
- Participar en competencias, foros de evaluación, etcétera.

Tal vez sea difícil que una sola persona haga todo, pero lo que sí se debe hacer es que todos estos elementos se consideren en las evaluaciones (en vez de sesgarse sólo a ciertos aspectos), de forma que en su conjunto la comunidad realice todas las actividades propuestas. Esto ayudaría a tener un desarrollo más sano y fuerte del área, lo que redundaría en el futuro en un mayor impacto para el desarrollo del país.

### 3.3.3. Recomendaciones

Con base en el análisis previo y tomando en cuenta las recomendaciones de los expertos internacionales ya citados, proponemos lo siguiente para la evaluación de los científicos, tecnólogos y académicos en Computación:



1. La Computación es tanto una ciencia como una Ingeniería y la evaluación debe adecuarse a esta particularidad.
2. Las publicaciones en conferencias de alto nivel son muy importantes en Computación dado el dinamismo del área y las costumbres de la comunidad internacional, por lo que deben considerarse en las evaluaciones al mismo nivel que las revistas indizadas.
3. Las publicaciones de libros y capítulos de libros también deben considerarse en la evaluación y debe fomentarse la publicación de libros de texto (de preferencia en español).
4. Deben considerarse e impulsarse el desarrollo de artefactos (software, sistemas, dispositivos, etc.), los cuales son tan importantes como las publicaciones.
5. Las patentes son indispensables para la generación de tecnología en Computación, por lo que deben tener un peso significativo en la evaluación, mucho mayor que el peso asignado a un artículo científico.
6. La evaluación no debe basarse sólo en medidas cuantitativas de publicaciones, debe complementarse con medidas cualitativas basadas en la evaluación de pares.
7. Cualquier criterio de evaluación, especialmente los cuantitativos, deben ser claros y públicos.
8. Los indicadores numéricos no se deben usar para comparar disciplinas.
9. La evaluación de los computólogos no debe basarse en índices como el JCR de ISI, el cual no es adecuado para la Computación.
10. Los criterios de evaluación deben ser también evaluados y ajustados periódicamente.

### 3.4. EVALUACIÓN A NIVEL GRUPAL

En esta sección analizamos la evaluación a nivel de grupos: cuerpos académicos que forman un posgrado (maestría y/o doctorado), proyectos de grupo, redes de investigadores y departamentos de Computación, entre otros. Nos enfocamos a posgrados, dada la importancia de la evaluación del CONACyT para el otorgamiento de becas. En forma análoga a la sección anterior, incluimos el estado actual, el estado deseado y algunas recomendaciones.

#### 3.4.1. Estado actual

En forma similar a la evaluación individual, la evaluación de los grupos dedicados a la investigación y docencia en México está fuertemente condicionada por el SNI. Veremos primero la evaluación de los posgrados y después la de los departamentos, proyectos y redes.

#### **Posgrados**

Los posgrados –maestrías y doctorados– son evaluados en México por el CONACyT, quien otorga becas a estudiantes en aquellos programas incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC). Diversos factores se consideran para que un posgrado sea considerado dentro del PNPC, entre los más relevantes se encuentran:

- Calidad de la planta académica, en función de la membresía en el SNI.
- Eficiencia terminal.
- Productividad científica de los profesores y estudiantes.

Estar dentro del PNPC se vuelve crucial para un posgrado, ya que le permite otorgar becas a sus estudiantes; esto es una gran ventaja incluso en comparación con otros países, donde los profesores tienen que conseguir recursos para sus estudiantes a través de proyectos.

Hay algunos aspectos del PNPC que consideramos que se podrían mejorar para la Computación. Se le da mucho peso a la eficiencia terminal de los posgrados, de forma que si un estudiante no concluye a tiempo no se considera dentro de la contabilidad de egresados. Esto en ocasiones limita la exploración de temas con mayor alcance (riesgo) en las tesis, lo que podría resultar en investigaciones de mayor impacto. Una alternativa es tener algo gradual, de forma que también se tome en cuenta (tal vez con menor peso) a los egresados fuera de los tiempos “normales”, considerando la calidad de los productos generados.

Los mecanismos de evaluación de los candidatos a doctor son muy importantes, ya que los doctores constituyen la base de la investigación en cualquier disciplina. A diferencia de otros países, en México estos mecanismos son muy diferentes dependiendo de la disciplina y la institución. Esto por un lado causa confusión a los estudiantes y por otro no ayuda a garantizar la calidad en todos los graduados.

### **Proyectos y redes**

Los apoyos para proyectos en general se dividen en dos grandes grupos: proyectos de investigación básica y proyectos de desarrollo tecnológico. Los primeros se orientan a las ciencias tradicionales, aunque pueden haber algunos proyectos de investigación en Computación. Los segundos se podría pensar que están muy ligados a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico en Computación, pero en buena parte estos fondos (como los sectoriales) están enfocados a desarrollos específicos a corto plazo. Esto implica que las fuentes de financiamiento se polaricen a los dos extremos del espectro, ya sea investigación básica o desarrollos a corto plazo, lo cual deja pocos apoyos para la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico, ambos muy importantes para la Computación. Esta situación afecta la evaluación de proyectos de Computación, ya que por un lado si se evalúan dentro de ciencia básica pueden parecer “aplicados”, y si se evalúan como proyectos de desarrollo, se considera que no son suficientemente aplicados o se cae en proyectos que son básicamente de Ingeniería sin implicar ninguna innovación.

Aunado a la dificultad de conseguir apoyos para proyectos, las evaluaciones de los investigadores, tanto del SNI como de la mayor parte de las instituciones académicas, no valoran los proyectos con patrocinio externo. Esto contrasta con lo que sucede en las universidades de los países desarrollados, donde se toma en cuenta los patrocinios externos que consiguen los profesores. Esto es importante ya que el hecho de que alguien externo patrocine un proyecto, garantiza cierta valía y relevancia de la investigación asociada.

En México se han ido consolidando varios grupos en distintas áreas de la Computación, por ejemplo, en Inteligencia Artificial, Robótica, Tecnologías del Lenguaje, Reconocimiento de Patrones, etc. Sin embargo, es difícil tener apoyos que ayuden a que estos grupos se fortalezcan, crezcan y colaboren más estrechamente. Un esquema que parecía prometedor es el de las redes del CONACyT, que ha apoyado en ciertos momentos a algunas redes en Computación como la Red TICs; pero esto ha resultado poco eficiente dado que son apoyos a corto plazo (toma tiempo que un grupo se consolide) y a que ha habido complicaciones administrativas.

## **Departamentos**

La evaluación de departamentos (academias, unidades, coordinaciones, etc.) de Computación en universidades y centros de investigación, tiende a estar condicionada por los criterios del SNI, por lo que sufre de las mismas deficiencias que la evaluación individual. Muchas veces se evalúa a los grupos y departamentos de Computación basándose en criterios de otras disciplinas, lo cual implica que la evaluación y en particular la comparación con otros departamentos, no sea justa. Como en el caso de la evaluación de los investigadores, la de grupos y departamentos de Computación debe adecuarse a las particularidades del área.

### **3.4.2. Estado deseado**

Lo deseado es que la evaluación de los posgrados, proyectos y departamentos de Computación se realice de acuerdo con los criterios de la disciplina, fomentando la formación de recursos humanos, proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de la más alta calidad e impacto.

En lo que respecta a los posgrados, debe privilegiarse la calidad de los egresados y de sus investigaciones sobre otros aspectos de menor importancia. Es deseable tener criterios similares para los diferentes programas de doctorado, así como impulsar la colaboración entre los programas.

Se deben impulsar más los proyectos de investigación básica y aplicada, así como los desarrollos tecnológicos; asimismo, se debe estimular y apoyar más a los proyectos de grupo de mayor alcance y a las redes de investigación.

Los departamentos de Computación deben ser evaluados en base a criterios adecuados para el área, impulsando un desarrollo integral que considere tanto aspectos de investigación básica y aplicada, como desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología, divulgación de la ciencia y formación de recursos humanos.

### 3.4.3. Recomendaciones

Para la evaluación de grupos —posgrados, proyectos, redes, departamentos— se recomienda lo siguiente:

1. Privilegiar la calidad de los egresados de posgrado sobre otros criterios.
2. Impulsar y apoyar la participación de investigadores de otros países en los comités doctorales.
3. Fomentar la estandarización de los mecanismos de evaluación de los estudiantes de doctorado. Para ello se podrán hacer reuniones entre los coordinadores de los posgrados de las diferentes instituciones.
4. Impulsar el desarrollo de proyectos de grupo de largo alcance y redes de investigación en Computación.
5. Valorar en la evaluación de investigadores y grupos los proyectos con patrocinio externo.

6. Apoyar a empresas que exploten patentes desarrolladas en México, así como el desarrollo de tecnología computacional.
7. Evaluar a los departamentos y grupos de Computación en base a criterios adecuados para el campo.
8. Estimular la generación de patentes y la transferencia de tecnología.
9. Fomentar la inclusión de expertos externos para la evaluación de estudiantes, grupos y departamentos.
10. Promover que las instituciones –grupos, academias, departamentos– definan sus propios criterios de evaluación, dentro de los cuales el SNI puede ser un factor, pero no el único ni el determinante.

### 3.5. EVALUACIÓN A NIVEL INSTITUCIONAL

La evaluación de las instituciones de educación superior e institutos de investigación se realiza por diferentes instancias. En México, las universidades y centros de investigación son en general evaluadas por comités externos; por ejemplo, los Centros Públicos de Investigación del CONACyT se evalúan cada 6 meses por una Comisión Evaluadora Externa, y finalmente por su Junta de Gobierno. A nivel internacional, recientemente se han vuelto muy relevantes los *rankings* internacionales, en especial para las universidades.

#### 3.5.1. Estado actual

##### **Evaluación nacional**

La evaluación de las instituciones de investigación y educación superior varía de acuerdo con el tipo de institución, por ejemplo:

- Centros Públicos de Investigación: son evaluados por su Junta de Gobierno, constituida por diversas personalidades del gobierno, uni-

versidades, otros centros e incluso empresas; ésta considera las recomendaciones de una Comisión Evaluadora Externa integrada por expertos nacionales e internacionales.

- Universidades Públicas: son evaluadas por la Secretaría de Educación Pública (SEP), en particular respecto a sus programas de estudio, así como por diversos organismos dependiendo del tipo de institución (universidad estatal, tecnológicos, etc.).
- Universidades Privadas: son evaluadas por la SEP para la acreditación de sus programas de estudio. Los otros organismos que las evalúan varían de acuerdo a la institución; por ejemplo, algunas universidades se evalúan por la *Southern Association of Colleges and Schools* (SACS) de Estados Unidos.

Además de la evaluación directa a la institución, existen diversos mecanismos de evaluación indirectos. Uno de éstos es el Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL), el cual realiza exámenes para el ingreso y egreso a las diferentes carreras profesionales en el país. Uno de los problemas para evaluar a los egresados de las carreras de Computación es que existen cientos de variantes de programas que el CENEVAL ha tratado de englobar en 4 perfiles (ver capítulo 4).

Existen también *rankings* de las universidades nacionales, por ejemplo el del periódico El Economista, que se basa en los siguientes criterios:

- calidad docente,
- investigación,
- reputación entre empleadores,
- oferta de posgrados,
- prestigio internacional,
- acreditación.

Desde el punto de vista de la Computación, una desventaja es que algunos indicadores no son los más adecuados, como el uso del ISI en investigación, que como hemos visto no provee una cobertura apropiada.

También existen algunos *rankings* sobre los institutos de investigación; como ejemplos tenemos el *Ranking Web of World Research Centers*, una iniciativa del Cybermetrics Lab y el del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España. Sin embargo, como en el caso de los *rankings* internacionales, los indicadores no son adecuados para la Computación.

### **Evaluación internacional**

La evaluación a nivel internacional, en particular para las universidades, está dominada recientemente por los *rankings* internacionales, entre los que destacan:

- *Times Higher Education: The World University Rankings* (TWUR), Gran Bretaña.
- *QS World University Rankings* (QS), corporación internacional con base en varios países.
- *Academic Ranking of World Universities* (ARWU), China.
- *Best Global Universities Rankings – US News*, (BGUR), EUA.

Estos indicadores evalúan a las universidades a nivel global y se basan en diferentes aspectos, entre los que destacan:

- Profesores y ex-alumnos ganadores de premios Nobel o medallas Fields (Matemáticas).
- Artículos científicos publicados (basado en el ISI).
- Publicaciones en las revistas *Science* y *Nature*.
- Investigadores altamente citados (basado en el ISI).



Por ejemplo, el ARWU basa su evaluación en un 90% en los criterios anteriores.

El problema con estos indicadores es que no son representativos o adecuados para la Computación, ni para las ingenierías en general. Es muy raro que un investigador en Computación publique en *Science* o *Nature*, y es casi imposible que obtenga un premio Nobel o una medalla Fields (un caso excepcional es el de Herbert Simon, ya que era a la vez investigador en Ciencias de la Computación y en Economía, quien obtuvo el premio Nobel de Economía). Por otro lado, los indicadores de publicaciones y citas se basan en la base de datos de ISI, que como ya comentamos no provee una buena cobertura para la Computación.

En general estos indicadores están sesgados a evaluar la investigación básica en las ciencias naturales (Física, Química, Biología, etc.), dando poco peso a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico, por lo que tienden a demeritar a las ingenierías en general y a la Computación en particular. Por lo tanto, las instituciones con una orientación más tecnológica, como el ETH en Suiza,<sup>5</sup> no son bien evaluadas. Por otro lado, si analizamos la correlación entre los diferentes *rankings*, por ejemplo entre el de Times y el ARWU, ésta es muy débil, lo que demuestra que el conjunto de indicadores en que se basan estos *rankings* tiene una influencia significativa en los resultados.<sup>6</sup>

El comparar a las universidades en base a los *rankings* debe hacerse con cuidado, tomando en cuenta sus limitaciones y no deberían de utilizarse, al menos en su forma actual, para comparar a los departamentos de Computación.

### 3.5.2. Estado deseado

Lo deseable es que existan organismos externos que evalúen a las instituciones de educación superior y centros de investigación con base a criterios amplios e incluyentes que consideren todos los aspectos importantes y no se limiten a unos cuantos. En general habría que considerar los siguientes puntos:

<sup>5</sup> Friedemann Mattern, *Bibliometric Evaluation of Computer Science: Problems and Pitfalls*, Institute for Pervasive Computing, Department of Computer Science, ETH Zurich, European Computer Science Summit (ECSS 2008), 2008.

<sup>6</sup> Idem

- Investigación: calidad e impacto de sus investigadores y programas de posgrado.
- Docencia: cantidad (respecto al número de estudiantes) y calidad de los profesores; relevancia y calidad de los programas de estudios; calidad de los egresados.
- Desarrollo tecnológico: patentes y otras formas de propiedad intelectual generadas.
- Vinculación: colaboraciones con empresas, gobierno y otras universidades en el país y en el extranjero.
- Infraestructura: laboratorios docentes y de investigación, infraestructura en general.
- Internacionalización: estudiantes extranjeros, intercambios de investigadores y estudiantes, proyectos internacionales.
- Impacto en la sociedad: opinión de los empleadores, difusión de la ciencia y tecnología, empresas generadas, etcétera.

El peso de los diferentes indicadores podría variar con el tipo de institución: universidades, centros de investigación y centros de desarrollo tecnológico.

Respecto a la evaluación de las instituciones en la parte de Computación se requieren indicadores de acuerdo con las características especiales del campo, de la misma manera que para individuos y grupos.

### 3.5.3. Recomendaciones

Nuestras recomendaciones para la evaluación de instituciones, en particular para el área de Computación, son:

1. Contar con comités externos de expertos nacionales e internacionales, de preferencia *in situ*.

2. Basar la evaluación en criterios amplios e incluyentes que consideren las diferencias entre los campos de conocimiento.
3. Estimular la generación y transferencia de tecnología y patentes a nivel institucional.
4. Crear organismos de apoyo institucional para difundir la cultura de propiedad intelectual, así como para generar y transferir patentes y otras formas de propiedad intelectual.
5. Establecer una serie de conocimientos y habilidades básicas que deben tener todos los egresados de carreras de Computación, e incluirla en los exámenes de egreso.
6. Tomar con cautela los *rankings* internacionales, que en general son limitados y no reflejan la situación en Computación.
7. Impulsar que todas las instituciones de educación superior realicen investigación y desarrollo.
8. Explotar las patentes generadas en las instituciones mediante apoyos para proyectos basados en patentes.
9. Fortalecer la internacionalización de las instituciones.
10. Garantizar criterios de calidad mínimos para que una institución pueda impartir licenciaturas y/o posgrado en Computación.

### 3.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación y estímulos condicionan la conducta. Las acciones se orientan a lograr lo que se valora y estimula, y a la vez se desmotiva lo que no se valora. Por lo tanto, la forma en que se evalúan a los individuos, a los grupos y a las organizaciones que realizan investigación, desarrollo y docencia, es determinante para orientar estas actividades en los diferentes campos del conocimiento. Esto es

crítico en Computación por sus características particulares: i) La Computación es tanto una ciencia como una ingeniería, de forma que la evaluación debe tomar en cuenta ambos aspectos, los cuales, deben verse de manera holística y no por separado y ii) La Computación es un área de conocimiento relativamente nueva y muy dinámica, con mecánicas y costumbres diferentes a la mayoría de las áreas de conocimiento más establecidas.

En este capítulo hemos realizado un análisis cualitativo de la evaluación en Computación en México, tanto a nivel individual, como grupal e institucional. Se presenta el estado actual y el estado deseado, así como una serie de recomendaciones. Dicha evaluación está fuertemente condicionada por el SNI, el cual no evalúa adecuadamente a los computólogos, pues aplica criterios de otras disciplinas. Éste y otros factores no han favorecido el mejor desarrollo de la disciplina, que debería ser un importante motor para el desarrollo del país. Para lograr esto, es importante reorientar la evaluación y estímulos de forma que propicien la generación de conocimiento, tecnología y recursos humanos de la más alta calidad, con lo que se generaría un impacto significativo en la economía y eventualmente en el bienestar de la sociedad. A continuación recapitulamos las principales recomendaciones en cada aspecto de la evaluación en diferentes niveles:

- Publicaciones: en Computación no sólo son relevantes las publicaciones en revistas; también lo son los congresos de alto nivel, los capítulos de libros y los libros. En particular debe estimularse la publicación en los congresos internacionales de primer nivel, donde la comunidad internacional publica y los cuales tienen el mayor impacto y difusión.
- Desarrollo tecnológico: debe impulsarse y valorarse más el desarrollo tecnológico, y en particular la generación de patentes. Para ello es necesario que las instituciones provean los apoyos y estímulos para la generación y transferencia de la propiedad intelectual.
- Índices: los índices de publicaciones (ISI, Scopus, etc.) no son adecuados para la Computación ya que proveen una baja cobertura y no

incluyen todos los productos relevantes, por lo que no deben utilizarse como única fuente, sino deben complementarse con otras, como las listas de congresos de primer nivel y la opinión de pares.

- SNI: la evaluación de los computólogos en el Área VII del SNI ha propiciado un aislamiento de la comunidad respecto a los principales foros internacionales, así como la fragmentación de la comunidad entre las diferentes áreas del SNI. Es necesaria una evaluación de acuerdo con las características e inercias del campo, en particular considerando los 3 puntos anteriores. Dada las diferencias con otras ingenierías y el crecimiento de investigadores en Computación (y en campos con características similares como la electrónica y las comunicaciones), se propone la creación de una nueva Área en el SNI.
- Posgrados: se debería privilegiar la calidad de los egresados de los posgrados sobre otros aspectos, así como impulsar una verdadera internacionalización mediante intercambios de profesores y estudiantes, estudiantes extranjeros, así como la participación de profesores externos (nacionales y extranjeros) en los comités de tesis. También sería deseable estandarizar los procesos y requisitos para los doctorados en Computación en las diversas instituciones.
- Proyectos: se deberían valorar los proyectos con patrocinio externo, e impulsar los proyectos de grupo y redes de investigación, así como proyectos y empresas que exploten patentes generadas en México.
- Departamentos: los departamentos y grupos de Computación deben evaluarse de acuerdo con los criterios apropiados para la disciplina y no se debe importar criterios de otros campos. En particular debe fomentarse un desarrollo integral que incluya investigación (publicaciones en los mejores congresos y revistas), desarrollo tecnológico (patentes, concursos, estándares, *benchmarks*, etc.) y formación de recursos humanos de excelencia.

- Instituciones: hay que ser cautelosos con los *rankings* internacionales ya que en general no evalúan adecuadamente a las instituciones enfocadas a Ingeniería y Computación. Es deseable contar con comités externos de expertos (nacionales y extranjeros) que evalúen objetivamente a las instituciones, de acuerdo con sus características y áreas particulares.



## 4. Políticas para la educación

### 4.1. INTRODUCCIÓN

La Computación ha revolucionado de manera importante prácticamente a todas las áreas del conocimiento. Es parte integral de nuestras vidas y funciona como el principal facilitador para el descubrimiento y la innovación en la mayoría de las disciplinas del conocimiento. Actualmente es impensable realizar investigación en Ciencia e Ingeniería, desarrollar conocimiento o generar tecnología sin el uso de las computadoras. Los desarrollos en Computación han cambiado en muchos aspectos las economías actuales y a la sociedad en su conjunto. Su impacto podemos verlo, por ejemplo, en la interconexión continua de las personas por medio de Internet y en el desarrollo de redes sociales; en la información de mapas y sus implicaciones en el transporte; en sistemas de traducción automática, facilitando la comunicación a nivel mundial; en el análisis de imágenes con importantes aplicaciones médicas; en la disponibilidad de cursos en línea y sus repercusiones educativas, etcétera.

La penetración de la Computación en todos los ámbitos de la sociedad del siglo XXI, ya sea a través de la digitalización de las redes de telecomunicaciones, o el sinnúmero de aplicaciones que corren en todo tipo de computadoras y dispositivos electrónicos, han provocado en las personas expuestas a este entorno digital ubicuo cambios cognitivos profundos y la necesidad de desarrollar o potenciar habilidades que le permitan manejar la complejidad y el dinamismo del mundo computacional que los envuelve.



Es decir, habilidades que les permitan satisfacer la necesidad de buscar y seleccionar la información oportuna, la capacidad de discriminar información no pertinente, de sintetizar la que sí lo es, de abstraer patrones y relaciones relevantes, de buscar la solución de un problema complejo descomponiéndolo en subproblemas más sencillos para posteriormente ensamblar la solución final, etc. Todo ello bajo presiones de tiempo reales o imaginarias. Estas y otras habilidades se están convirtiendo en indispensables para poder convivir con este complejo sistema de la llamada “sociedad del conocimiento”. Todas estas habilidades son las mismas que se desarrollan a lo largo del aprendizaje de la Computación. Algunos autores las engloban en el término genérico de “pensamiento computacional”, aunque son capacidades naturales del pensamiento analítico y racional sistemático.

Debido a su importancia de impacto en la sociedad, la Computación se ha vuelto un área prioritaria para el desarrollo económico, social y cultural de los países. En México, sin embargo, no se ha impulsado el área de manera integral en parte por el desconocimiento de lo que es la Computación y del tipo de trabajo que realizan los profesionistas del área. Algunas de las percepciones erróneas comunes son pensar que trabajar en Computación es equivalente a dar servicio para poder usar las computadoras; que enseñar Computación es equivalente a enseñar cómo utilizar paquetes; o que invertir en infraestructura de comunicación y redes implica invertir en Computación. Esto es parecido a pensar que un médico únicamente puede realizar labores de primeros auxilios, creer que el comprar ambulancias equivale a invertir en medicina o que se piense que por entrenar a un médico en cómo usar un equipo médico significa que sepa de medicina.

Un aspecto fundamental para el conocimiento de un área y para su desarrollo es su enseñanza en todos los niveles educativos. La educación la podemos ver desde educación básica, media, media superior, licenciatura y posgrado. En este capítulo analizamos parte de las problemáticas de la educación relacionada con la Computación en los diferentes niveles y proponemos algunas recomendaciones para remediarlas. Este escrito es un primer acercamiento que identifica áreas de oportunidad para fortalecer la Computación y que esperamos sirva como punto de partida para una discusión más profunda, que involucre a otros actores,

que creemos fundamental para impulsar esta área, que es altamente relevante para el desarrollo del país.

## 4.2. EDUCACIÓN PREUNIVERSITARIA

Con la inclusión de las computadoras en la vida diaria, la enseñanza de conceptos relacionados con la Computación se ha reconocido en el mundo como una habilidad fundamental en todos los niveles educativos. Estos conceptos están relacionados con los procesos mentales involucrados en la formulación y solución de problemas y su representación. Esto involucra crear y usar diferentes niveles de abstracción, pensar en forma algorítmica, entender las consecuencias de la escalabilidad, etc. Independientemente del desarrollo profesional de las personas, los procesos mentales necesarios para resolver problemas, crear abstracciones o eliminar información innecesaria; diseñar pasos y reglas a seguir; descomponer problemas en partes más simples; identificar patrones, entre muchos otros, son habilidades cognitivas indispensables para la vida en sociedad y están íntimamente relacionadas con el manejo y comprensión del lenguaje y de las matemáticas.

En general, las preparatorias y algunas secundarias y primarias en México ofrecen cursos de Computación; sin embargo, éstos se enfocan principalmente a la enseñanza de los componentes básicos de *hardware*, del sistema operativo y, en mayor medida, al uso de paquetes, como procesadores de texto (Word), hojas de cálculo (Excel), herramientas de presentaciones (PowerPoint), etc. El problema es que capacitar a los estudiantes en el uso de estas herramientas es casi lo único que se hace y, peor aún, esta actividad se presenta frecuentemente como si se estuviera enseñando Computación. Es como si en lugar de enseñar matemáticas se instruyera en cómo usar una calculadora o en lugar de enseñar ingeniería mecánica automotriz se instruyera en cómo manejar un coche.

Por otro lado, la inclusión de las computadoras en la sociedad y la conectividad ofrecida por Internet están cambiando de manera muy importante la forma en que las personas aprenden, y esto debería de reflejarse en la forma de enseñar en general. Actualmente la información que se requiere para resolver cualquier tipo de problema o tarea en todos los niveles educativos (y laborales)

se basa en realizar búsquedas en Internet. Estas búsquedas, sin embargo, muchas veces se realizan en sitios poco confiables y no se cuestiona ni analiza su veracidad o contenido. Tampoco se desarrollan habilidades para razonar acerca de la información, sintetizarla o interpretarla. Sin ningún tipo de guía, los jóvenes se están desarrollando como muy buenos buscadores de información (aunque no necesariamente confiable o de calidad) y como malos pensadores, críticos o con limitada capacidad de abstracción.

Finalmente y sin pretender ser exhaustivos, otro aspecto relacionado con el uso de las computadoras que se ignora en la enseñanza actual es el manejo adecuado de la información personal y el cuidado de la privacidad. Los jóvenes no reciben ningún tipo de educación en cuanto a qué información hacer pública y cuál no, ni de cómo tomar medidas básicas de seguridad que los protejan del robo de identidad, del acoso sexual, del *bullying*, de descargar virus y de ser víctimas de fraudes, entre otros tantos riesgos.

Paralelamente, se requiere que los profesores y la sociedad en general estén capacitados en todos estos aspectos fundamentales que deben formar parte de la cultura general básica del siglo XXI. Estos conocimientos van más allá de los que usualmente se incluyen en las campañas para “reducir la brecha digital”. Son elementos constitutivos de habilidades cognitivas y no solamente información operativa de aparatos digitales.

Además de campañas de concientización de la población, es muy importante incluir competencias y habilidades relacionadas con lo que se conoce como “pensamiento computacional” desde la educación básica. Esto implica proveer conocimientos de Computación útiles para el desarrollo integral de los jóvenes, que incluyan conceptos de lógica y abstracción, algoritmos, manejo de datos y conceptos básicos de programación, descomposición de problemas, identificación de patrones, evaluación, entre otros; muchos de los cuales no requieren siquiera del uso de una computadora y que son útiles para cualquier disciplina. El concepto de “pensamiento computacional” no es nuevo y, dada su importancia, se está enseñando ya en Estados Unidos y Europa en todos los niveles educativos. Lo que se requiere es concientizar a las autoridades educativas de su

existencia e importancia y adaptar los avances que se están haciendo en los países desarrollados a la realidad educativa mexicana.

En varias disciplinas, principalmente en matemáticas, existe una gran cantidad de materiales didácticos que se han desarrollado para facilitar su enseñanza. Aunque muchos de estos materiales están basados en programas computacionales, no se han desarrollado para enseñar Computación. Es muy importante que se desarrollen recursos didácticos, a todos niveles, para la enseñanza de la Computación y su fácil entendimiento.

Actualmente existen muchos recursos de educación no escolarizada que se pueden aprovechar y desarrollar para apoyar la enseñanza de la Computación en el país. También se requieren desarrollar cursos masivos en plataformas MOOC que den a conocer las habilidades de pensamiento computacional que se necesitan en las sociedades modernas. Es importante determinar el conjunto de habilidades computacionales que cada alumno debe tener al egresar de la educación media superior sin importar su área de concentración.

Finalmente, la educación es el pilar fundamental para el desarrollo de cualquier país. En buena medida, la inclusión de las computadoras está cambiando las formas de percibir e interactuar con el mundo, de aprender y de adquirir conocimiento. Es indispensable que la educación se adapte a estos cambios e incluya conceptos relacionados con la Computación.

### 4.3. EDUCACIÓN UNIVERSITARIA

En el catálogo de Carreras de Licenciatura en Universidades e Institutos Tecnológicos del ANUIES existen más de mil programas y más de 150 denominaciones de carreras relacionadas a Computación y Sistemas. Éstas se encuentran en el área de Ingeniería Industrial, Mecánica, Electrónica y Tecnologías y dentro del área de Ciencias Naturales, Exactas y de la Computación, lo que representa cerca del 7% de la matrícula nacional. La diversidad de nombres y la falta de congruencia entre éstos y sus contenidos temáticos crea confusión para los alumnos que no saben qué estudiar, y para los empleadores que no saben cuáles son las habilidades de las personas que quieren contratar. Es como si en lugar de que

exista la carrera de ingeniero civil, hubiera una de ingeniero en obra civil, otra de licenciado en construcción, una más en ingeniería de puentes, carreteras y edificios, otra en administración de obra, etc. Por otro lado, la comunidad percibe que el nivel de los estándares de calidad y la cantidad de contenidos matemáticos en las carreras de Computación han bajado con el tiempo, posiblemente para mantener una matrícula de alumnos<sup>7</sup> y/o porcentajes de graduación acordes con los indicadores adoptados por las universidades.

La Computación es un área del conocimiento particularmente dinámica y la adaptación a estos cambios y la adopción de nuevos conocimientos se encuentra rezagada, por lo que es importante actualizar constantemente los planes de estudio.

La forma actual de evaluar la calidad de los egresados de las carreras de Computación en el país se basa en los resultados de los cuatro perfiles definidos por la Asociación Nacional de Instituciones de Educación en Tecnologías de Información (ANIEI) y tomados por CENEVAL: i) Ciencias Computacionales, ii) Informática, iii) Ingeniería Computacional y iv) Ingeniería de Software. Incluso muchas universidades han optado por los resultados de la evaluación del CENEVAL como requisito de egreso de una licenciatura o de ingreso a un posgrado. La definición de estos perfiles parecería obedecer más a una estrategia de inclusión de todas las carreras que a realizar una evaluación del núcleo básico de conocimientos que todo profesionista en Computación debería tener.

En lugar de definir varios perfiles que cobijen a todas las carreras relacionadas con la Computación que existen en el país, se requiere definir un núcleo básico de conocimientos común a todas las carreras existentes. Estos conocimientos deben de abarcar aspectos de algoritmos, bases y estructuras de datos, matemáticas discretas, entre otros, así como aspectos éticos relacionados con plagios, la inclusión de condiciones ocultas en programas, el desarrollo de programas que falsean información,<sup>8</sup> etcétera.

---

<sup>7</sup> La matrícula de alumnos en carreras relacionadas con la Computación bajó de cerca del 9% a cerca del 7% en los últimos 7 años.

<sup>8</sup> El caso reciente más conocido al respecto es el de la empresa VW. ([https://en.m.wikipedia.org/wiki/Volkswagen\\_emissions\\_scandal](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_emissions_scandal))

La empresa, por su parte, argumenta que la calidad del recurso humano disponible en Computación y tecnologías de la información es inadecuada. No hay una coordinación entre las necesidades de la industria y los programas educativos ofertados en México. Conciliar ambas posturas no es fácil dado el alto dinamismo del área, la cual está en permanente evolución y sufriendo fuertes transformaciones. Lo que actualmente se maneja como Internet móvil, Cómputo en la Nube, Internet de las cosas, *Big Data*, vehículos autónomos, por mencionar sólo algunas de las áreas emergentes, no existía hasta hace relativamente poco tiempo.

Para hacer frente a este dinamismo se requieren al menos dos acciones fundamentales: i) impartir cursos avanzados de Computación con alto contenido matemático y algorítmico, etc., que permitan entender y desarrollar las nuevas tendencias computacionales y ii) ofertar materias en temas de actualidad en los últimos semestres de las licenciaturas que involucren a los investigadores del área. Existen muchas licenciaturas en las que los estudiantes nunca reciben una clase impartida por un doctor en Computación lo que limita sus posibilidades de estar al tanto de la frontera del conocimiento y su interés por hacer estudios de posgrado.

En Computación, como en muchas otras disciplinas, es muy importante contar con técnicos que ayuden en la administración de los sistemas de cómputo, en la instalación de programas, entre otras tareas de este tipo. Muchas de las carreras de Computación ofrecen una preparación más cercana a carreras técnicas, y muchos ingenieros y licenciados en Computación se contratan para realizar labores propias de un técnico. Es muy importante revisar los planes de estudio de todas las carreras, identificar un núcleo básico de materias comunes a la Computación y darle su debido reconocimiento a los técnicos, como se hace en otros países.

Al igual que con la educación preuniversitaria, existe una gran cantidad de recursos no escolarizados con gran utilidad potencial. Por ejemplo, hay algunas iniciativas de educación a distancia que aprovechan las nuevas tecnologías y las herramientas de cursos masivos MOOC para extender la cobertura de la educación computacional de alta calidad y a un costo muy bajo en nuestro país.

#### 4.4. POSGRADOS

La investigación en Computación se nutre de tratar de resolver problemas fundamentales del área, por ejemplo, relacionados con la inteligencia artificial, el análisis de computabilidad, la solución de problemas no polinomiales, etc.; de la creación de nuevas tecnologías y del surgimiento de empresas tecnológicas y de resolver problemas sociales y económicos. La investigación es fundamental para el desarrollo de la ciencia y de la tecnología, y ha logrado la mayoría de los avances en Computación de los que disfruta la sociedad en su conjunto, mismos que la han transformado de manera radical en los últimos años.

Existen varios posgrados de Computación en el país, pero muchos de ellos están soportados por grupos pequeños y cuyos miembros tienen diferentes especialidades. Esta atomización de especialidades impide y retrasa el desarrollo de la investigación en el área. Por otro lado, la proporción de alumnos que ingresa a un posgrado en Computación en relación a la cantidad de alumnos que ingresa a la licenciatura es menor en Computación que en otras disciplinas. Esto se puede deber en parte a que existe una alta demanda por las empresas de profesionistas en Computación, pero también a que el gusto por la investigación se fomenta poco en las licenciaturas, en parte por una formación deficiente, como se comentó en la sección anterior.

Tampoco existe un plan de desarrollo y/o de definición de áreas estratégicas en Computación, al igual que en otras áreas, que sea importante fomentar y que privilegie la creación de plazas en estas áreas o la formación de recursos humanos. Si se identifican tendencias mundiales hacia el desarrollo de profesionistas expertos en, por ejemplo, *Big Data*, *Cómputo en la Nube* o en *Internet de las Cosas*, se deberían de crear plazas y fomentar el desarrollo de recursos humanos altamente capacitados en estas áreas.

Existe la percepción de que hay menos alumnos interesados en estudiar algún posgrado y de que su preparación en conceptos fundamentales de Computación ha disminuido, como se mencionó en la sección anterior. En general y no sólo en Computación faltan incentivos para estudiar un posgrado debido a las pocas opciones de desarrollo profesional después de éste.

La modernización del país debe pasar por un cambio en el modelo de desarrollo económico y social que permita transitar a toda la sociedad hacia una sociedad basada en el conocimiento y con una mejor distribución de la riqueza. Un cambio de esta envergadura no puede darse sin cambios profundos en todos los ámbitos. Uno de ellos es el papel que debería asignarse a la formación de profesionistas e investigadores del más alto nivel. El caso de los posgrados deberá revisarse profundamente, tanto en los centros de investigación del CONACyT como de las universidades con mayor potencial del país. El número de plazas de investigadores deberá aumentar sustancialmente y los viejos esquemas, propios de modelos económicos del pasado —que sujetan el número de plazas de tiempo completo en las universidades públicas, tanto de investigadores como de profesores investigadores, al número de alumnos matriculados en el nivel de licenciatura— están demostrando ser un lastre demasiado pesado que evita que nuestro país pueda modernizarse.

La industria mexicana no se caracteriza por ser especialmente innovadora. Existe poca inversión en investigación y desarrollo. Las grandes empresas tienden a comprar software y servicios de empresas transnacionales, y hay poca disponibilidad de talento especializado en la industria. Hay poca (nula) demanda en la industria para contratar doctores. Faltan incentivos y condiciones favorables para formar empresas de desarrollo tecnológico, y existen muy pocos inversionistas dispuestos a apostar en nuevas empresas tecnológicas.

Se requiere fortalecer la cooperación de los posgrados y de los grupos de investigación en Computación del país. Una forma es mediante la codirección de tesis y la identificación de problemas científicos comunes a investigadores en distintos grupos. Esto implica priorizar y reconocer la colaboración en la resolución de problemas científicos.

Dado el número reducido de especialistas en ciertas áreas de la Computación, se pueden crear cursos en línea de investigadores altamente reconocidos, accesibles para toda la comunidad de estudiantes y profesores, que permitan diseminar los conocimientos especializados más actualizados y fortalecer el conocimiento de los principales grupos de investigación, facilitando así futuras colaboraciones interinstitucionales.



Siendo un área prioritaria en el mundo y dada la existencia de una gran cantidad de centros de investigación dedicados exclusivamente a la Computación en varios países y en distintas industrias, llama la atención que no exista un Centro Público de Investigación (CPI) en Computación en el país.

Se requiere también crear posgrados orientados al desarrollo tecnológico que permitan detonar la creación de empresas tecnológicas mexicanas que compitan a nivel internacional.

Finalmente, la investigación en Computación, en lugar de ser impulsada por el Sistema Nacional de Investigadores, se está restringiendo y aislando de la comunidad internacional al no reconocer los productos científicos aceptados internacionalmente en el área, como se menciona en el capítulo 3.

#### 4.5. CONCLUSIONES

La investigación y el desarrollo en Computación y la disponibilidad de computadoras y dispositivos móviles en la población han transformado a la sociedad en su conjunto. Los desarrollos científicos recientes de la Computación han permeado con una gran cantidad de aplicaciones que han transformado el desarrollo científico, social y económico de la población. Esto ha colocado a la Computación como un área prioritaria en muchos países que destinan importantes recursos para su desarrollo y en donde se reconoce como una disciplina en el mismo nivel que otras más tradicionales como la Física, las Matemáticas o la Biología.

México requiere impulsar a la Computación, entre otros aspectos, en todo su proceso de enseñanza. La educación de la población es fundamental para el desarrollo de los países. La incorporación de la Computación en la sociedad ha cambiado de manera importante el modo en que se percibir al mundo, se obtiene e interpreta información y se aprende nuevo conocimiento.

Estos cambios no han sido acompañados por adecuaciones a las estrategias de enseñanza del país. Existe una serie de competencias y habilidades relacionadas con la Computación, en lo que se conoce como “pensamiento computa-

cional”, que han sido reconocidas a nivel mundial como indispensables para el fortalecimiento de los procesos de aprendizaje pero que aún no se reconocen en México. Se requiere revisar y actualizar los planes de estudio para incorporar estas competencias y habilidades, y para cambiar los contenidos de los cursos en Computación que se centran actualmente en la enseñanza de uso de paquetes.

El alto dinamismo de la Computación ha generado una explosión de licenciaturas y contenidos que no se acaban de estabilizar. Es muy importante definir un núcleo mínimo de conocimiento en Computación que sea común para todas las carreras ofertadas en el país y darle congruencia a la formación de profesionistas en el área. Se necesita fomentar la impartición de cursos con bases sólidas en los conceptos fundamentales de la Computación que permitan hacer frente al dinamismo del área y se requiere ofertar cursos de temas actuales involucrando a más investigadores.

Se necesita crear materiales didácticos para la enseñanza de la Computación y es conveniente crear cursos masivos aprovechando las herramientas actuales.

La investigación es un componente fundamental para generar innovación y desarrollo tecnológico. Es importante fortalecer y aumentar los núcleos de los grupos existentes de investigación en Computación y crear Centros Públicos de Investigación dedicados al área.

La Computación ha permeado y cambiado de manera importante a la sociedad y se reconoce como un área fundamental para el desarrollo económico de los países y como un facilitador del conocimiento en la mayoría de las disciplinas. La educación es esencial para el desarrollo de cualquier país y de cualquier área de conocimiento; sin embargo, la educación en Computación en México presenta una serie de deficiencias en todos sus niveles.



## 5. Políticas, estrategias y oportunidades de vinculación

### 5.1. LA VINCULACIÓN EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA

La vinculación en México entre la academia y los sectores productivos está tomando una nueva dimensión debido a diversas acciones de las instituciones y empresas, pero sobre todo a programas gubernamentales que han apoyado el desarrollo de este tipo de actividad. Estos programas, aunados a otros esfuerzos, como la creación de incubadoras, aceleradoras de empresas, oficinas de transferencia tecnológica y parques tecnológicos, han permitido que estemos en posición de capitalizar la experiencia de los equipos de investigación nacionales. Sin embargo, aún falta mucho por hacer; estamos muy lejos de tener un mercado laboral de alta tecnología que explote satisfactoriamente la producción científica y tecnológica mexicana. Si lo anterior es casi inexistente, entonces también estamos muy lejos de generar riqueza de manera recurrente que provenga del desarrollo tecnológico fruto de una vinculación. Hoy en día, existen diversas dificultades que se deben atender para que la vinculación sea exitosa y genere riqueza substancial basada en la tecnología. Entre las dificultades más recurrentes podemos mencionar:

- Desconocimiento y falta de confianza. La gran mayoría de la producción científica generada por el sector académico mexicano es desconocida por la industria y el gobierno debido a que las publicaciones científicas que exigen los sistemas como el SNI no son consultadas por estos grupos de interés. Por otra parte, el número de foros na-

cionales donde se divulga la investigación y sus posibles aplicaciones es reducido. Esto causa que ambos mundos, por desconocimiento mutuo, no hayan generado la confianza requerida para la vinculación.

- La gran mayoría de las instituciones académicas e industrias no están preparadas para vincularse. No existe una persona experta en vinculación ni mucho menos una división dedicada a dicha tarea. Los departamentos de vinculación en las universidades y centros de investigación se ocupan de otros temas como la vinculación comunitaria o académica que no brinda los resultados buscados de desarrollo tecnológico. Los departamentos de vinculación que tienen como tarea principal cooperar con los sectores productivos y públicos con el fin de desarrollar tecnología son casi inexistentes. Por otra parte, los investigadores no pueden ser los generadores globales de dicha vinculación.
- La vinculación implica obstáculos legales difíciles de superar. Hay muchos obstáculos de carácter legal para encontrar un acuerdo entre la institución académica y los sectores productivos. Éstos son aún mayores en las instituciones privadas debido a su naturaleza empresarial que busca proteger sus activos.
- Diferencia de intereses. En la academia existe un discurso abierto y el interés es publicar, mientras que en el sector productivo se tienen políticas de confidencialidad y la divulgación pública del conocimiento es limitada.
- Los académicos consideran que puede existir un riesgo al vincularse. El tiempo invertido en esta tarea podría provocar un descuido en su productividad relacionada a indicadores individuales, como por ejemplo aquellos del SNI, Programa para el Desarrollo Docente (PRODEP) o aquellos que impone su institución de adscripción. Particularmente en las instituciones de educación superior la prioridad es enseñar, y la vinculación puede verse como innecesaria por los

directivos. La carga de trabajo de los profesores, especialmente en las universidades privadas, puede ocupar el cien por ciento de su tiempo, lo que dificulta la vinculación, aún si se tiene la voluntad o el visto bueno de los directivos.

- En muchos casos es difícil encontrar un esquema ganar-ganar. Los intereses del sector productivo son a muy corto plazo. En la mayoría de los casos las empresas no invierten en proyectos de desarrollo tecnológico cuyos beneficios se disfruten en el mediano y mucho menos en el largo plazo. Por ello, existe un interés mínimo de las empresas por vincularse con el sector académico.
- La escala de tiempo es diferente en los sectores productivos y en la academia. En los sectores productivos todo va más rápido; se requiere resolver problemas que se tienen hoy en el menor tiempo posible. Las universidades y los centros de investigación, por diversas razones, no tienen la estructura organizacional o funcional que tienen las empresas de consultoría. Esto hace ver a los académicos como lentos y no muy confiables en el cumplimiento a tiempo de entregables.
- Realidad nacional y modelos de países desarrollados. Por último, una dificultad recurrente, es que en algunos casos tanto el gobierno como las instituciones quieren aplicar modelos provenientes de países altamente desarrollados que no son aptos para nuestra realidad nacional.

## 5.2. MODELOS DE VINCULACIÓN

La vinculación e innovación efectiva no se improvisan; requieren de técnicas y modelos que permitan maximizar las probabilidades de éxito. La vinculación requiere de modelos que aseguren que los esfuerzos realizados llevarán al sector académico y productivo hacia el desarrollo de tecnología. Por supuesto, estos modelos deben ser acordes con la situación de nuestro país y de cada institución en función de sus conocimientos (*know-how*), cultura y necesidades. Los procesos de vinculación y los indicadores de desempeño se deben identificar para evaluar

el nivel de madurez de la institución en este tema tomando medidas acordes a su situación. Por otra parte, es importante señalar que no basta con querer crear y aplicar los modelos de vinculación: también se deben incentivar. Los estímulos son necesarios tanto para trazar el camino inicial de la vinculación como para asegurar su consolidación. Los sectores académico y productivo (público y privado) reaccionarán únicamente si se establecen los estímulos adecuados, ya que esta actividad aún no es sistemática en nuestro país.

Un marco de referencia que resulta útil para conceptualizar la vinculación entre la academia, los sectores productivos y el gobierno es la Triple Hélice de Etzkowitz.<sup>9</sup> En este modelo, la vinculación se ve afectada por intercambios dinámicos que se van desarrollando en espiral. La extensión de este modelo con la sociedad civil –la Cuádruple Hélice– se ve como un modelo de innovación centrado en el usuario.<sup>10</sup>

El modelo de la Triple Hélice establece: i) a la universidad como realizadora de actividades de investigación y desarrollo basadas en principios académicos; ii) a la industria como proveedora de demanda de los clientes sobre la base de sus actividades comerciales, así como la investigación y desarrollo para generar nuevas oportunidades de negocio y iii) al gobierno como gestor de las condiciones políticas y marco regulador apropiado para generar entornos de crecimiento. La integración de estos tres actores yace en el corazón del sistema de Triple Hélice. Cuando la vinculación es efectiva, se incrementa el traspaso de conocimientos y se aumenta la ventaja competitiva del desarrollo económico ya sea regional o nacional.

Etzkowitz considera que existen muchos mecanismos para poner en marcha proyectos de vinculación entre los tres componentes, incluyendo parques tecnológicos y centros de investigación. Propone que las universidades realicen sus actividades de vinculación en forma coordinada con las empresas, que se involucre la industria en todo el proceso y que las administraciones públicas y

<sup>9</sup> Etzkowitz, Henry, *Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations*, Social Science Information, Vo. 42, pp. 293-337, 2003.

<sup>10</sup> Afonso, Oscar and Monteiro, Sara and Maria, Thompson, A growth model for the quadruple helix, *Journal of Business Economics and Management* pp. 849-865, 2012.

el gobierno intervengan y aporten financiamiento. Señala que la academia ha tenido hasta ahora un papel secundario en el proceso, ya que los campus universitarios no deben concentrarse solamente en investigar acerca del nuevo conocimiento científico y tecnológico, sino que deben constituirse como uno de los motores de la innovación tecnológica.

El modelo de la Cuádruple Hélice surge a partir del modelo de Etzkowitz con la inclusión de la sociedad civil. Se considera que un factor esencial para el éxito de una empresa es que la innovación se centre e impulse en el usuario. Muchas empresas están tomando en cuenta esta estrategia en su modelo de negocios ya que hace énfasis en el entendimiento de las necesidades latentes del consumidor al involucrar más a los usuarios en el proceso de innovación. Este modelo de innovación permite incrementar el valor de utilidad de los productos y servicios en contraposición a la innovación que se hace únicamente con propósitos comerciales.<sup>11</sup>

Así, el primer reto es incrementar las relaciones entre la academia y el sector productivo. Se requiere fortalecer los programas que convengan a la industria del enorme potencial de innovación que tienen las instituciones académicas y de sus beneficios. Es imprescindible que el sector productivo mexicano invierta en actividades de vinculación. Por ejemplo, en diversos países se recomienda invertir un porcentaje mínimo en actividades de investigación y desarrollo en universidades, centros de investigación o empresas PyMES, que incluso puede ser deducible de impuestos. México ha implementado medidas análogas desde los ochenta por medio de los estímulos fiscales. Según un reporte de la Universidad Autónoma Metropolitana,<sup>12</sup> estas medidas tuvieron poco éxito en aquellos años pues la actividad en investigación y desarrollo era escasa y las empresas mostraron poco interés. Más tarde, se lanzó un nuevo programa en el 2001 que tuvo mayor éxito. El número de empresas participantes pasó de 192 en el 2001 a 1045 en el 2006 con 679 y 3155 proyectos respectivamente. Bajo este esquema,

---

<sup>11</sup> Arrnkil, Robert and Järvensivu, Anu and Koski, Pasi and Piirainen, Tatu, Exploring Quadruple Helix, Työelämän tutkimuskeskus, 2010.

<sup>12</sup> Dutrénit, Gabriela and Capdevielle, Mario and Corona, Juan Manuel and Puchet, Martin and Santiago, Fernando and Alexandre, Vera-Cruz, El Sistema Nacional de Innovación Mexicano: Instituciones, Políticas, Desempeño y Desafíos, Munich Personal RePEc Archive, 2010.



resultaron beneficiadas empresas de capital extranjero.<sup>13</sup> En el 2008, el Programa Especial de Ciencia y Tecnología sustituyó al programa de estímulos fiscales por el Fondo de Innovación Tecnológica (FIT) operado por el CONACyT y la Secretaría de Economía. Este fondo otorga los estímulos previos a la realización de los proyectos. Al anterior se une el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI)<sup>14</sup> también operado por el CONACyT y la creación del Instituto Nacional del Emprendedor (INADEM) dependiente de la Secretaría de Economía, que estimula de una manera más general a las empresas, no necesariamente en la vinculación o el desarrollo tecnológico. Estas últimas acciones han impulsado la vinculación y deben ser revisadas para confirmar que lo siguen haciendo con frecuencia.

### 5.3. EL PAPEL DE LA VINCULACIÓN EN LA ECONOMÍA

Las dificultades de la vinculación antes mencionadas son generales e independientes del área de desarrollo tecnológico, es decir, no son específicas a la Computación. Sin embargo, la naturaleza del sector de la Computación hace que la vinculación en esta área sea en cierta forma más factible que en otras. Por ejemplo, las inversiones de infraestructura que se deben hacer para trabajar en un proyecto de Computación suelen ser menores que en otras áreas y en muchas ocasiones más productivas. Por otra parte, nuestro país está muy bien situado para competir a nivel internacional generando tecnología de punta en Computación. Tenemos excelentes académicos para formar el capital humano necesario y un número importante de profesionistas capacitados. Existe un gran potencial para hacer de nuestra producción científica y tecnológica en Computación una actividad clave del producto interno bruto tanto en servicios como en productos. La creación de un mercado laboral mexicano de alta tecnología es posible y la Computación es la piedra angular para lograrlo.

En los países desarrollados la riqueza está en la sociedad gracias a la ciencia, la tecnología, la cultura y un estado de derecho y México no tiene por qué ser diferente. Para avanzar hacia el desarrollo debemos tener la capacidad de aplicar

---

<sup>13</sup> Idem

<sup>14</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Programa de Estímulos a la Innovación, 2016.

los recursos que el país tiene para resolver sus problemas. La Computación es sin duda una de las áreas clave que continuará desarrollándose satisfactoriamente en los próximos años. Por citar un ejemplo, tan sólo en 2015, nueve de las diez tecnologías identificadas como emergentes por el World Economic Forum<sup>15</sup> están altamente relacionadas con la Computación. En México existen los recursos humanos capacitados para desarrollar esta área que es el corazón mismo de la nueva revolución tecnológica. La digitalización de las unidades productivas de la economía es inminente. Si hoy en día no le damos la importancia necesaria a la Computación en México crearemos una dependencia tecnológica aún más grande, como ha sucedido en el pasado.

Gracias a los recursos humanos en Computación que tiene nuestro país tenemos la oportunidad de participar activamente en la próxima revolución tecnológica: la automatización contemporánea también conocida como *Industria 4.0*.<sup>16</sup> <sup>17</sup> Un apoyo firme al desarrollo tecnológico en Computación puede contribuir en gran manera a resolver los problemas económicos de nuestro país. Es claro que los mecanismos de mercado adoptados por México en las últimas décadas no han dado los resultados esperados. Ni la apertura externa ni la atracción de inversión extranjera han permitido disminuir significativamente nuestra vulnerabilidad externa en cuenta corriente<sup>18</sup> y la cuenta corriente no ha disminuido.<sup>19</sup> Esto sugiere que la solución no vendrá de afuera; ésta tiene que generarse al interior de México mediante acciones que beneficien a la sociedad.

Gran parte de la solución se encuentra en el desarrollo científico en Computación que permita crear nueva tecnología tanto para el sector productivo como para la solución de problemas sociales de educación, salud, seguridad y acceso a la justicia, entre otros. En México existen los recursos humanos y un sistema de educación de nivel superior en Computación para crear dicha tecnología. Debemos crear un interés en común basado en la confianza entre los

---

<sup>15</sup> [www.weforum.org](http://www.weforum.org)

<sup>16</sup> Schwab, Klaus, *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*, 2016.

<sup>17</sup> Hermann, Mario and Pentek, Tobias and Otto, Boris, *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*, Technische Universität Dortmund, 2105.

<sup>18</sup> Medina Ramírez, Salvador, *La dependencia tecnológica en México*, Economía Informa, pp. 73-81, 2004.

<sup>19</sup> Banco de México, *Cuenta Corriente*, 2016.

sectores académico y productivo, así como en la sociedad en general: impactar a la sociedad mexicana al brindarle una mejor calidad de vida basada en la tecnología. Es decir, una sociedad basada en la economía del conocimiento donde la Computación sea fuente de valor y riqueza y donde cada día sea más difícil despojar a la sociedad de los avances adquiridos en la calidad de vida. Nuestra vulnerabilidad externa por cuenta corriente se puede reducir. Para ello vale la pena subrayar que es indispensable incrementar el número de registros de propiedad intelectual por mexicanos y su explotación, ya que con ello reduciremos nuestra tasa de dependencia tecnológica y seremos más autosuficientes.

En resumen, es necesario que nuestro país sea un innovador; para ello se requiere generar patentes, vincular a las universidades con la industria y fomentar una cultura de la propiedad intelectual.

La innovación es un proceso a través del cual se puede dar el crecimiento rentable y sostenible de las organizaciones. Gracias a la innovación las empresas se distinguen de sus competidores ofreciendo a sus clientes productos o servicios de valor. Las empresas que no innovan ni generan nuevas ofertas de valor para sus clientes pierden competitividad y están destinadas a desaparecer. La innovación se ha convertido en el elemento diferenciador entre los países avanzados y subdesarrollados.

Peter Drucker,<sup>20</sup> señala que la innovación es más de transpiración que de inspiración y recomienda ver a la innovación más como una disciplina que como un evento casuístico. Las empresas innovadoras cuentan con procesos sistemáticos para identificar necesidades y oportunidades de mercado, para crear visiones de productos y tecnologías, y para desarrollar una estrategia cuyo objetivo sea producir y vender dichos productos y tecnologías. En estos procesos, la generación, selección y combinación de ideas se sustenta en conocimiento acerca del mercado, clientes y canales, y en los aspectos tecnológicos y operativos que subyacen a los procesos de la organización.

En este contexto, las instituciones generadoras de conocimiento, como las universidades, los institutos de investigación y los laboratorios públicos y

<sup>20</sup> Drucker, P., *The Discipline of Innovation*, Harvard Business Review, pp. 67-72, Mayo-Junio, 1985

privados, juegan un papel fundamental para generar conocimiento científico y tecnológico que posteriormente se traduzca en nuevas soluciones para los clientes de un mercado determinado. En México, los grupos de investigación en las universidades públicas acumulan la gran mayoría de los miembros del SNI, con un pequeño porcentaje de las universidades privadas y un porcentaje desgraciadamente todavía ínfimo de investigadores empresariales. De ahí la relevancia que la academia participe en el proceso de vinculación con los sectores productivos.

#### 5.4. IMPORTANCIA DE LOS APOYOS INSTITUCIONALES

La cuestión central es qué debemos hacer para que la vinculación se dé y la comunidad de Computación sea más productiva. Entendiendo por comunidad tanto al sector académico-científico como al sector productivo. Primeramente, debemos crear puentes entre la comunidad de Computación y la sociedad por medio de la difusión masiva de los resultados arrojados por investigaciones nacionales a través de medios electrónicos, prensa, foros, eventos, etc. Este tipo de acciones generará la confianza necesaria en nuestra sociedad para acelerar la innovación en México. En el sector académico se debe contar con un apoyo institucional mediante la creación de divisiones de vinculación cuya tarea principal y visión estén orientadas a la generación de alta tecnología. Estas divisiones deberán realizar propuestas de transferencia tecnológica, buscar necesidades del sector productivo y de la sociedad e incidir en la generación de patentes. Con ayuda de estas divisiones, la academia, el sector productivo y la sociedad deben buscar objetivos e intereses en común que les permitan iniciar acciones para conocerse mejor y posteriormente avanzar en la generación de tecnología explotable. Dentro de este marco de cooperación, uno de los beneficios para los investigadores y las empresas a mediano plazo debe ser la publicación de artículos acompañados de uno o más registros de propiedad intelectual (patentes, derechos de autor, modelos de utilidad, etcétera).

Las autoridades centrales de las universidades y centros de investigación deben establecer ante la comunidad, de manera clara, explícita y transparente, que la vinculación está dentro de las prioridades de la institución y que las actividades relacionadas serán debidamente valoradas. Si esto no se hace explícito

la comunidad universitaria no tendrá claro si el proceso se apoyará o no, y esto inhibirá la generación y aplicación de conocimiento. Por ejemplo, en el caso de la UNAM, la relativamente reciente creación de la Coordinación de Innovación y Desarrollo tiene como uno de sus objetivos estratégicos promover al interior de la universidad y hacia el sector externo todos los procesos de vinculación. Para ello, dicha Coordinación busca promover una mayor cultura de vinculación entre el personal académico. Su objetivo, misión y visión son transcritas enseguida:

- **Objetivo:** Servir como vínculo entre la comunidad universitaria y los sectores productivo y social para la transferencia de desarrollos, conocimientos, servicios y productos de la UNAM.
- **Misión:** Impulsar la innovación en la UNAM y propiciar el aprovechamiento de los conocimientos, tecnologías y productos de la UNAM, en beneficio de la sociedad mexicana, a través de una vinculación efectiva con los sectores público, social y privado.
- **Visión:** Ser reconocida dentro y fuera de la UNAM como la instancia de excelencia que impulsa la innovación y propicia el aprovechamiento de sus capacidades de innovación, conocimientos y tecnología, con objeto de mejorar la calidad de vida y la competitividad de México.

En algunas universidades privadas se han tomado acciones similares; por ejemplo, el ITESM ha realizado inversiones importantes con apoyos de los gobiernos de los estados y a nivel federal para instrumentar diversos mecanismos de vinculación que se refuerzan entre sí:

- **El modelo de Incubación de Empresas:** Promueve la aplicación de las ideas desarrolladas no sólo de los alumnos que toman los cursos de emprendedores, sino también las generadas por egresados y la comunidad en general. La Red de Incubadoras de Empresas del ITESM cuenta actualmente con cerca de cien incubadoras distribuidas en todo el país.

- La Red de Aceleradoras de Empresas: Apoya a las empresas denominadas Gacelas para estimular su crecimiento a través de consultorías especializadas de alto nivel, en donde se evalúan e implementan procesos de mejora e innovación en cada una de las áreas sustantivas de la empresa.
- El programa de desarrollo de los Parques Tecnológicos: Alinea la visión del ITESM con las necesidades regionales. Este programa se formuló en coordinación con las comunidades y gobiernos regionales aprovechando sus campus a lo largo de México.

Actualmente, el ITESM cuenta con 82 incubadoras de empresas, 15 aceleradoras de empresas y 15 Parques Tecnológicos,<sup>21</sup> además de tener el programa Centros de Familias Emprendedoras, así como otras acciones para impulsar el crecimiento y consolidación de PyMES y StartUps.

Lo ideal detrás de estas acciones es que los académicos sigan realizando su investigación con el mismo rigor, que la aplicación la hagan intermediarios expertos en procesos de vinculación y que el proceso completo se articule bajo un marco normativo adecuado a todos los jugadores de este ecosistema.

## 5.5. ENFOQUE A PROBLEMAS PRIORITARIOS Y ARTICULACIÓN DE ACCIONES

Es difícil saber con exactitud cuáles son nuestros recursos y nuestras necesidades o problemas reales; sin embargo, somos conscientes de una gran mayoría. Si se logra priorizar y articular los problemas reales con los recursos reales generaremos un impacto positivo importante en nuestro país. En Computación la articulación no se ha dado de manera conveniente; por ejemplo, cuando se adquieren computadoras o tabletas para los estudiantes sin garantizar que se usen de manera efectiva en la educación, o cuando se construyen aulas inteligentes sin contar con el personal preparado para explotarla. La pregunta en este tipo de

---

<sup>21</sup> Informe anual 2014, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

acciones es: ¿qué tanto la pura adquisición de tecnología resuelve los problemas prioritarios y reales que tenemos? Seguramente no los resuelve; el recurso se desvirtúa en diferentes puntos sin lograr explotar adecuadamente la inversión. Es decir, usamos recursos importantes para resolver problemas que no son fundamentales mientras que no atendemos adecuadamente problemas esenciales, como el desarrollo de tecnología.

Al no atacar los problemas fundamentales sólo disfrazamos al país de progreso tecnológico por un periodo muy corto de tiempo y sin traer beneficios sustanciales. El mismo efecto de disfraz tecnológico se provoca por la apertura externa y la atracción de inversión extranjera; estos dos mecanismos de mercado hacen que el gasto en tecnología en México se refiera a su adquisición y no a su desarrollo, por lo que no son medidas de alto impacto para reducir la dependencia tecnológica. Si no tenemos tecnología propia no tendremos empresas mexicanas de alta tecnología. Como dato interesante podemos mencionar que el número de empresas de base tecnológica que cotizan en la bolsa mexicana de valores no da señales de aumentar; además de que su número es reducido en gran parte son extranjeras. De acuerdo a un informe del Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.<sup>22</sup> la mayoría de las empresas en tecnologías de la información y comunicaciones (TICs) creadas a nivel mundial se encuentran en los Estados Unidos de Norteamérica y Japón. Sorprendentemente la India y Brasil cuentan con seis, y México sólo con dos.

Por otra parte, México tuvo un nivel de gasto en TICs del 3.9% del PIB en 2009, ubicándose en el lugar 50 a nivel mundial. Este rezago es aún mayor en términos de gasto en software, que fue 6 veces inferior al promedio mundial y 9 veces menor que el de Estados Unidos. Otros países como la India, Irlanda y Singapur han sido exitosos en desarrollar su industria de software como motor de crecimiento económico. México podría hacer algo similar para desarrollar esta industria por su gran potencial intrínseco, por su cercanía geográfica con Estados Unidos, el mercado de software más grande del mundo, por su red

---

<sup>22</sup> Gallegos, Rodrigo and Grandet, Carlos and Ramirez, Pavel and Ramos, Carlos and Villar, Germán, Los Emprendedores de TIC en México: Recomendaciones de política pública para su nacimiento, crecimiento y consolidación, Instituto Mexicano para la Competitividad A.C., 2014.

de tratados comerciales y por su afinidad con la cultura de negocios occidental y latinoamericana.

Debemos sustituir poco a poco el gasto en adquisición de tecnología por inversión en desarrollo tecnológico así como articular mejor el uso de nuestros recursos con la solución de nuestros problemas. Por ejemplo, muchos de los recursos podrían ser reorientados a retener el talento mexicano, aumentando la presencia del capital humano en las actividades de investigación y desarrollo tecnológico. Particularmente en Computación, el capital humano es de excelente calidad. Sin embargo, muchos profesionistas que tienen la capacidad de potenciar el desarrollo científico y tecnológico en Computación en México aceptan puestos en el extranjero; esto es así por las ventajas económicas y el carácter innovador de las empresas fuera del país y por el nivel muy bajo de innovación de las empresas mexicanas.

Aunado a esto, en las grandes empresas extranjeras no es común que las puertas se cierren por cuestiones de estatus social, raza, sexo o edad, además de que existe menos favoritismo. Particularmente en los Estados Unidos, al menos para los ingenieros en Computación, el sueño americano sigue siendo una realidad. A pesar de la recesión mundial de 2008 siguió existiendo una gran demanda de ingenieros del área de Computación. Todos estos profesionistas difícilmente regresarán a México (aunque ese fuera su deseo), ya que diversos factores de peso se ponen en la balanza, entre ellos, las oportunidades de trabajo y la calidad de educación para sus hijos. No cabe duda que la calidad de las escuelas es un factor para permanecer en el extranjero, pues para tener la misma educación en México se requiere de un nivel económico relativamente mayor al que se tiene en un país desarrollado. Por otro lado, los profesionistas mexicanos con doctorado o maestría que se van a trabajar al extranjero en un puesto diferente al de la academia o investigación, al cabo de pocos años pierden el potencial para convertirse en excelentes investigadores y/o académicos; no porque ya no tengan la capacidad de producir ciencia o tecnología, sino porque el medio académico en México es bastante crítico y penaliza fuertemente a quienes carecen de una producción científica o tecnológica constante. Por estas y otras razones muchos de nuestros talentos se convierten en un recurso humano perdido para



México. Es evidente que estamos desaprovechando nuestro capital humano en Computación y que debemos hacer algo para retenerlos e integrarlos a la cadena productiva que genere riqueza por y para México.

Así, una de las tareas principales es identificar y priorizar nuestros recursos y problemas articulándolos adecuadamente. Esto no es algo completamente nuevo pues ya se han emprendido algunas acciones que han tenido cierto éxito como la definición de los grandes retos nacionales y las redes temáticas. Este tipo de acciones debe madurar y pasar a una siguiente fase; se deben definir nuevos retos que propicien que las actividades de la comunidad computacional se orienten a la generación de tecnología que a su vez aporte significativamente al producto interno bruto. Para ello deben colaborar no sólo los sectores productivo y académico, sino también los tomadores de decisiones de los diferentes órganos de gobierno. El diálogo entre el gobierno, empresa y academia es indispensable. En el pasado, el diálogo con algunos órganos que tienen la mayor influencia en el destino del país, no dio los frutos deseados. Por ejemplo, la reflexión retrospectiva y prospectiva que se hizo en el seno del congreso 50 años de la Computación en México, organizado por la UNAM y la Red Mexicana de Investigación y Desarrollo en Computación (REMIDEC) en 2008, se presentó en la Cámara de Diputados en 2009. A pesar de la accesibilidad de los diputados y de la atención prestada a la propuesta, los resultados de este diálogo fueron muy modestos. Al no existir un plan a largo plazo, los senadores, diputados y funcionarios del gobierno interesados en el tema, cambian cuando expiran sus nombramientos, y consecuentemente se pierde la continuidad. Adicionalmente, muchas de las acciones emprendidas por el gobierno tienen una ventana temporal muy corta. Por lo anterior, si queremos lograr los resultados esperados debemos ante todo concientizar a la sociedad mexicana acerca de la importancia de la Computación para el desarrollo del país. Debemos definir una política pública que dé prioridad a intereses que no sean momentáneos sino de largo plazo. Las medidas adoptadas deben hacer que el sector académico y productivo sean parte esencial del desarrollo tecnológico y de la innovación en México.

## 5.6. INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO DE LA VINCULACIÓN

La vinculación es el catalizador principal que permite transformar el desarrollo científico en el desarrollo tecnológico que lleva a una nación a una posición financiera sólida y a tener una mejor calidad de vida. Por lo tanto, es de suma importancia estimar el rumbo que está tomando la vinculación en nuestro país. Es necesario establecer indicadores clave que midan el desempeño de la vinculación. Además es necesario un observatorio confiable que mida dichos indicadores a corto, mediano y largo plazo, y de manera cuantitativa y cualitativa. Algunos indicadores para medir la vinculación en México podrían ser los siguientes:

- Grado de madurez de la vinculación medida por el porcentaje de académicos que participan en actividades académico-emprendedoras:<sup>23</sup>
  1. Proyectos científicos de gran envergadura: desarrollo de proyectos de investigación patrocinados por grandes fondos públicos o industriales de duración mayor a dos años.
  2. Proyectos científicos con fondos de gobierno: desarrollo de proyectos de investigación patrocinados por fondos de gobiernos de duración de uno a dos años.
  3. Investigación bajo contrato: proyectos realizados por las universidades o instituciones de investigación para organizaciones externas.
  4. Consultoría y actividades de tipo Clínica de Apoyo al Desarrollo: venta de las habilidades científicas y tecnológicas para la resolución de problemas específicos.
  5. Patentes, licencias y software: explotación de patentes, licencias y software por parte de la industria, que son parte de los resultados de investigación y desarrollo con la academia.

---

<sup>23</sup> Magnus, Klofsten and Dylan, Jones-Evans, Comparing Academic Entrepreneurship in Europe: The Case of Sweden and Ireland, *Small Business Economics*, Vol. 14, pp. 299-309, 2000.

6. Enseñanza externa: impartir cursos cortos para personal y estudiantes de organizaciones externas.
  7. Pruebas: proveer facilidades de prueba o ajuste a instituciones u organizaciones no educativas.
  8. Ventas: venta de productos desarrollados por las universidades o instituciones de investigación.
  9. Creación de empresas (*spin-offs*): formación de nuevas empresas que exploten los resultados y las investigaciones de universidades e instituciones de investigación.
- Registros de propiedad intelectual, aceptados y aplicados.
  - Productos generados que tengan como base uno o más registros de propiedad intelectual.
  - Productos generados gracias a la vinculación.
  - Beneficio económico de las partes.
  - Tesis realizadas con el sector productivo.
  - Porcentaje de alumnos en prácticas profesionales en el sector productivo.
  - Participación de los exalumnos en actividades de vinculación.
  - Empleos generados por la vinculación.
  - Programas de formación dual (universidad-empresa).

Evidentemente estos indicadores deben ser priorizados reflejando su importancia e incluso deben ser dinámicos conforme la vinculación madure en nuestro país. El crecimiento anual de las actividades académico-empresariales podría ser uno de los indicadores más importantes. El número de empresas nacientes de las universidades y centros de investigación es también un indi-

cador adecuado que sin duda permite medir los avances de la vinculación y de la innovación en nuestro país. En los Estados Unidos de América es un hecho que las universidades con mayor número de creación de *spin-off* por año son las de mayor prestigio. Tan sólo el Instituto Tecnológico de Massachusetts creó 135 de éstas de 1995 a 2001, la Universidad de California 118 y la Universidad de Stanford 73.<sup>24</sup> La mayoría de estas nuevas empresas han impactado enormemente a la sociedad y a la economía de los Estados Unidos: de 1980 a 1999 las *spin-off* contribuyeron a la creación de 280,000 empleos. Un aumento en estos indicadores en nuestro país se verá seguramente reflejado en los indicadores que utiliza el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECiTI) de México para medir la innovación y el desarrollo tecnológico; estos indicadores son la balanza comercial de bienes de alta tecnología y el número de solicitudes de patentes.<sup>25</sup>

Similar al Índice Global de Innovación (*Global Innovation Index*,<sup>26</sup> (GII)) deberían adoptarse indicadores (o subíndices) de entrada y de salida que nos permitan tener una visión de nuestros avances a lo largo del tiempo. En el GII, los subíndices de entrada capturan los elementos de la economía nacional que propician las actividades de innovación por medio de cinco pilares: i) instituciones, ii) capital humano e investigación, iii) infraestructura, iv) satisfacción del mercado y v) sofisticación del mercado. Los indicadores de salida, por su parte, miden los resultados de la innovación: i) conocimiento y tecnología, y ii) creatividad. Estos indicadores miden la proporción de la eficiencia en innovación correspondiente al resultado de dividir el promedio de los indicadores de salida entre el promedio de los indicadores de entrada. Técnicas similares son usadas para calcular la tasa de dependencia que divide el número de patentes solicitadas por extranjeros entre el número de patentes solicitadas por residentes. El GII utiliza 84 indicadores ya que cada subíndice es dividido en otros individuales.<sup>27</sup>

---

<sup>24</sup> O'Shea, Rory P. and Allen, Thomas J. and Chevalier, Arnaud and Roche, Frank, Entrepreneurial orientation, technology transfer and spinoff performance of U.S. universities, *Research Policy*, Vol. 34, No. 7, pp. 994-1009, 2005.

<sup>25</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Programa especial de ciencias, tecnología e innovación 2014-2018, 2014.

<sup>26</sup> [www.globalinnovationindex.org](http://www.globalinnovationindex.org)

<sup>27</sup> The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development, Cornell University and INSEAD and WIPO, 2015.

Un observatorio confiable que supervise los indicadores clave debe ser el propio INEGI quien deberá revisar con todo el rigor que el tema amerita el levantamiento de los indicadores, complementándolo con información de otras organizaciones como El Foro Consultivo, Científico y Tecnológico<sup>28</sup> o el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.<sup>29</sup> El levantamiento y supervisión de los indicadores no se debe dejar en manos inexpertas, como ha sido el caso de levantamientos estadísticos estatales de programas nacionales, como el Programa de Estímulos a la Innovación del CONACyT. Se debe crear consciencia en todos los niveles de gobierno acerca de que un correcto levantamiento de los indicadores es lo que mejor refleja la realidad de los avances en vinculación de nuestro país, y que obviamente éstos son de suma importancia, ya que las futuras decisiones se tomarán con base en ellos.

---

<sup>28</sup> [www.foroconsultivo.org.mx](http://www.foroconsultivo.org.mx)

<sup>29</sup> [imco.org.mx](http://imco.org.mx)

## 6. Políticas para el desarrollo de la Computación

A la luz de lo expuesto en los capítulos anteriores, regresamos ahora a los objetivos esenciales para el desarrollo de la Computación en México: mejorar la calidad de la investigación y que la riqueza que genera la Computación se derrame a la sociedad. Estos objetivos están ligados porque una mejor calidad de la investigación se puede traducir en un mercado laboral de alta tecnología que devenga en productos tecnológicos dirigidos al mercado nacional e internacional. En este escenario habría tres fuentes de riqueza de las que México carece en este momento: i) una fuerza laboral altamente especializada, de alto nivel de ingreso, constituida por científicos, ingenieros y tecnólogos, cuyos ingresos se derramarían de manera directa en el mercado local; ii) una planta productiva de grandes dimensiones con la subsecuente creación de un número de empleos muy significativo conformada principalmente por personal de nivel de licenciatura y técnico de media y alta especialidad, cuyos ingresos se derramarían de manera directa en el mercado local y iii) el valor agregado de los productos de alta tecnología de origen nacional comercializados en los mercados nacionales e internacionales, así como las regalías por patentes de inventores mexicanos utilizadas en productos desarrollados y comercializados por compañías nacionales e internacionales. Estas tres fuentes de riqueza difieren de las plantas de ensamble de alta tecnología o maquiladoras, así como de las empresas de análisis y desarrollo de sistemas de software actuales, ya que requieren de recursos humanos con un nivel profesional mucho más alto de manera masiva y también porque el valor agregado de sus productos sería mucho mayor. El cambio de paradigma involucra también superar la concepción actual de la actividad tecnológica como una palanca para el desarrollo y pensarla, más bien, como un cambio de la estructura

de la actividad económica y social. En este capítulo se da un esbozo de cómo se podrían alcanzar estos objetivos.

Asimismo y de manera consistente con nuestro planteamiento a lo largo de este libro, la problemática y los escenarios se plantean desde la perspectiva de la cadena del valor: el estado actual depende de lo que se hace, lo que se hace de lo que se estimula, lo que se estimula de lo que se valora y lo que se valora de lo que se conoce. Esta cadena tiene también una formulación negativa, ya que hay carencias que se deben a lo que se deja de hacer por falta de estímulos, valoraciones pobres, conocimiento limitado e incluso por intereses encontrados. La cadena del valor se puede ver en ambos sentidos con diferentes escalas de tiempo: i) de adelante hacia atrás, es decir desde los efectos a sus causas, donde la perspectiva es de corto y mediano plazo, y los cambios que podemos esperar dependen esencialmente de las políticas de estímulos que fomenten o inhiban las acciones de los diversos actores del ecosistema y ii) de atrás hacia adelante, es decir de las causas a los efectos, donde los tiempos son mucho más largos, ya que involucran mejorar la educación y la cultura tecnológica, y los cambios dependen de estrategias de largo aliento que se den en el contexto de políticas de estado.

## 6.1. POLÍTICAS DE ESTÍMULOS

Probablemente el obstáculo principal para mejorar la calidad de la investigación en el corto y mediano plazo –tomando en cuenta el tamaño y nivel de madurez de la planta de investigación– es el énfasis cuantitativo de los procesos de evaluación, que repercute directamente en los estímulos que se otorgan a los investigadores tanto en el SNI como por los diversos cuerpos de evaluación de sus instituciones de adscripción y, consecuentemente, en la orientación actual de la actividad de investigación y desarrollo tecnológico. Este énfasis tiene como consecuencia que la producción sea de calidad relativamente modesta, lo cual a su vez se traduce en que la presencia de la comunidad en foros de excelencia internacional sea también muy limitada. Otra consecuencia es que los criterios actuales fomentan el desarrollo de un sólo perfil de carrera científica y académica para la Computación enfocado a la producción de artículos científicos. El resultado es que la gran mayoría de los investigadores tienen una presión muy

fuerte para lograr resultados a muy corto plazo, que en la práctica consisten en la publicación de artículos en revistas de poca circulación y bajo factor de impacto, en los que se reportan investigaciones muy concretas y por lo mismo potencialmente contingentes. Esto conlleva adicionalmente a que la atención se centre en el uso de metodología y herramientas para resolver o mejorar las soluciones a problemas de moda planteados en el contexto internacional y muy poco en el planteamiento de nuevos problemas o nuevas visiones. El resultado es que se tienen muy pocas publicaciones en las revistas emblemáticas o de alto factor de impacto, así como una presencia muy limitada en las congresos y conferencias más importantes a nivel internacional. Esta deficiencia se nota también en el número muy limitado de investigadores y tecnólogos mexicanos de alto nivel con rango de *fellows* o *senior members* en las sociedades o asociaciones científicas más importantes del mundo, como la *Association for Computing Machinery (ACM)*, el *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* y la *Association for the Advance of Artificial Intelligence (AAAI)*, por citar algunas de las más importantes. Por supuesto, esta situación depende a su vez y es síntoma del ambiente de investigación actual y del tipo de problemas que se abordan y del tipo de proyectos que se desarrollan.

Para revertir esta situación es necesario que se tomen en cuenta los factores de calidad para evaluar la productividad de los investigadores. Parece obvio que así debería de ser, pero en los hechos no lo es. El parámetro principal para evaluar a los investigadores en el SNI y en todos los sistemas de evaluación inspirados en el mismo —que son prácticamente todos en el ámbito nacional— es el número de artículos publicados por el investigador en el periodo de evaluación incluidos en el *Journal Citations Report* o *JCR*, independientemente de la calidad y nivel de circulación de la revista, de su factor de impacto, de las citas recibidas, del número y orden de autores e incluso de su longitud. Así que vale lo mismo tener un artículo en una revista con gran reconocimiento y circulación, en el que se presenta una teoría en extenso, con sus antecedentes, su formulación teórica, su validación y sus aplicaciones —lo que es frecuente en el ámbito de la Computación, especialmente en las revistas de mayor factor de impacto, muchas de las cuales requieren este formato— que publicar una nota de investigación en una revista muy poco conocida y de baja circulación.



Este enfoque cuantitativo da también lugar a tácticas para aumentar los números, en ocasiones a pesar de la calidad. Por ejemplo, hoy en día es común en varias áreas de investigación encontrar artículos bastante contingentes, firmados por un grupo muy numeroso de autores que conforman redes de publicación pero no necesariamente de investigación de calidad. Otra estrategia es sumarse a grupos dirigidos por investigadores de prestigio internacional en países desarrollados, haciendo trabajo técnico de apoyo a cambio de figurar como coautor. Independientemente que este tipo de prácticas son aceptables en nuestro entorno, y de los beneficios que representan para quienes la practican, limitan la posibilidad de crear grupos de investigación sólidos en México, además de que nuestros recursos, que ya de por sí son escasos, se utilizan para subsidiar investigaciones en el extranjero. Por supuesto, todos los investigadores sufren de este tipo de presiones y tienen que adoptar un compromiso entre sus intereses personales y los criterios de evaluación, pero lo preocupante es que en este momento no hay un equilibrio de la comunidad en su conjunto, y el progreso podría ser mucho más acelerado si la calidad se estimulara de manera más apropiada.

Aunque en principio los diversos sistemas de evaluación contemplan normalmente criterios de calidad éstos son insuficientes y en muchos casos son letra muerta. Por ejemplo, para acceder a los niveles más altos del SNI se esperaría que el candidato hubiese publicado en las revistas más emblemáticas de su especialidad y que contara con reconocimiento internacional; sin embargo, hay investigadores SNI nivel III o profesores de la más alta categoría que logran sus promociones por cantidad, muchas veces a través de un número muy elevado de coautorías en revistas de impacto bajo o medio; por el contrario, hay también investigadores con pocas publicaciones en las revistas de mayor tradición e impacto en sus áreas de especialidad que por falta de números no logran acceder a los niveles altos del SNI, a pesar de que su trabajo sea realmente de calidad y en ocasiones a pesar de contar con un reconocimiento internacional genuino.

Para subsanar estas deficiencias se podría, por ejemplo, tomar en cuenta el factor de impacto de la revista y las características particulares del artículo y/o los materiales de apoyo en los que se funda para determinar su peso dentro de los esquemas de evaluación. Asimismo, se podría ponderar la participación de cada

autor en el artículo en relación al número de autores. Adicionalmente es importante considerar el número de citas, pero también esto se debe modular respecto a la disciplina y a la fuente y calidad de las mismas. Una parte de esta información es cuantitativa y se podría determinar con una fórmula apropiada, pero otra depende de que los pares realmente lo sean y comprendan la fuerza y originalidad del artículo. Esto por supuesto conlleva la problemática de la integración de los cuerpos de evaluación, que en muchas ocasiones incluyen personal externo al área, carente de una cultura computacional apropiada y con una perspectiva diferente en cuanto a cultura, experiencia y nivel de madurez, por lo que en la práctica los cuerpos de evaluación terminan atendiendo a los indicadores cuantitativos a costa de los criterios de calidad.

Una forma de mejorar la calidad de la investigación es estimular la producción de artículos de gran visión y alcance por periodo de evaluación; por ejemplo 1 ó 2 cada 3 a 5 años, como opción a la vía actual en que se requiere 1 artículo por año. Asimismo, que la promoción a niveles superiores en el SNI se pueda lograr también por la vía cualitativa, por recomendación de los pares, con base en la productividad de vida y el reconocimiento nacional e internacional del candidato. Por otra parte, es necesario que los criterios de calidad actuales se respeten y no sea posible obviarlos a partir de factores cuantitativos como sucede en algunas ocasiones.

Otro frente en que hay que estimular la calidad es la presencia internacional. Al no haber estímulos a la publicación en conferencias y congresos de excelencia internacional, y tomando en cuenta el costo y esfuerzo que requiere dichas participaciones, la presencia que se tiene en estos foros es muy limitada. De hecho hay investigadores de alto nivel en el SNI cuya participación en eventos internacionales es prácticamente nula. El remedio es muy simple: se puede contar la productividad de artículos publicados en conferencias de excelencia y amplio reconocimiento. En particular, se podrían utilizar para efectos de evaluación las listas de congresos de gran reconocimiento internacional con sus indicadores de calidad. Por supuesto esta evaluación no puede ser exclusivamente cuantitativa y es necesario que los pares conozcan a fondo el entorno de la Computación.

Por su parte, valorar y estimular un sólo perfil académico excluye a varias orientaciones profesionales, incluyendo el desarrollo tecnológico, la formación de recursos humanos, la vinculación, la promoción y la difusión de la ciencia y la tecnología y, consecuentemente, limita la calidad que se puede esperar en estos rubros. En particular, los perfiles tecnológicos son muy poco valorados y los productos de este enfoque no se toman en cuenta como productividad básica. Por supuesto que evaluar a la tecnología no es fácil y los indicadores cuantitativos que se utilizan para evaluar a la ciencia no se pueden aplicar directamente a la evaluación de la tecnología; sin embargo, hay varios elementos que se pueden utilizar para evaluar el desarrollo tecnológico. En este sentido ha habido progreso con la introducción y el fortalecimiento de la subcomisión de tecnología del SNI y se espera que su actuación incida de manera muy positiva en el desarrollo de nuestra comunidad.

Como una consideración adicional se puede señalar que un elemento esencial para la evaluación de los investigadores en los entornos de excelencia internacional en Computación que no se considera en México, es la cantidad de proyectos obtenidos a partir de las convocatorias nacionales e internacionales que emiten los diversos organismos de carácter público y privado que promueven la investigación que consigue el investigador a lo largo de su carrera. Por ejemplo, en departamentos de Computación en Estados Unidos, Canadá y el Reino Unido un requisito indispensable para que un investigador o docente se promueva a *Full Professor* es acreditar, mediante los contratos o convenios correspondientes, la obtención de un número significativo de apoyos en los que el candidato figure como el investigador responsable. Esta incongruencia entre la práctica nacional e internacional sugiere que se tome en cuenta para las promociones a las categorías más altas de profesor o investigador o al nivel III del SNI el número y monto de los proyectos obtenidos y concluidos satisfactoriamente por el candidato a lo largo de su carrera. Por otra parte, esta omisión no es tan accidental ya que hay disciplinas donde no es usual solicitar proyectos de investigación y hay muchos investigadores de alto nivel en el SNI o profesores e investigadores de alto nivel en las universidades nacionales y estatales, por ejemplo, que nunca han recibido un apoyo directo por proyectos formales. Esto no sería posible en los entornos internacionales de excelencia en Computación.

En este rubro es importante considerar que los proyectos no siempre producen artículos para revistas en el JCR, pero generan una amplia variedad de productos de otros tipos, como dispositivos físicos o conceptuales que a su vez se pueden realizar como productos de software con un alto impacto potencial. Pero de manera más profunda, no valorar adecuadamente la consecución de fondos es no valorar el desarrollo de proyectos, tanto científicos como tecnológicos, y por lo mismo no estimular los ambientes dinámicos y colaborativos que conlleva su desarrollo, especialmente si se llevan a cabo por grupos relativamente grandes. Aunque en algunos contextos la ciencia se puede hacer de manera individual, el desarrollo de proyectos tecnológicos requiere el esfuerzo de equipos de trabajo con un alto grado de especialidad que colaboren de manera muy estrecha por periodos relativamente largos. Estimular a los investigadores que crean dichos equipos mediante proyectos formales es también estimular la creación de estos equipos y consecuentemente de sus productos tecnológicos.

Sin embargo, un elemento que previene fomentar este tipo de actividad es confundir los proyectos de investigación, en particular en Computación, con servicios de apoyo a los sectores productivos, que en nuestro entorno se piensan dentro del mismo rubro, pero que realmente obedecen a lógicas muy diferentes. Esta confusión nos lleva ahora a analizar el modelo o esquema de vinculación que ha prevalecido en México desde la introducción de la Computación y que en los aspectos esenciales se ha modificado muy poco.

Como se expuso en el Capítulo 1 cuando se describió el ecosistema de la Computación –aunque en este punto se puede extender al ecosistema de la tecnología en general– los sectores productivos solicitan servicios tecnológicos a la academia para atender problemas de operación, de logística y en algunos casos de diseño de productos de baja y media tecnología, y sólo en muy contadas ocasiones para diseñar productos de alta tecnología, ya que cuando esta necesidad surge, la tecnología se compra en el extranjero directamente. Esta actitud no es privativa del sector productivo, ya que cuando los sectores científico y académico requieren tecnología de punta, también la compran sin consideraciones adicionales; esto contrasta significativamente con los países desarrollados donde la ciencia y la tecnología están balanceados y se retroalimentan mutuamente. De

hecho, el balance o disparidad del desarrollo científico y tecnológico se puede considerar como un indicador del desarrollo. En el caso de México la ciencia, especialmente en las especialidades más tradicionales, como la Física, la Química y la Biología, es relativamente madura, pero si esta madurez se contrasta con nuestro grado de desarrollo tecnológico el balance es negativo y, por lo mismo, la reserva de contabilizar a los proyectos de desarrollo tecnológico como productos de investigación sólidos para los procesos de evaluación es genuina.

Una de las razones de la situación actual, que afecta a todo la industria pero de manera particular al sector computacional, es que, efectivamente, una industria fuerte debe contar con empresas especializadas en desarrollos tecnológicos que tengan la capacidad de atender las necesidades de ingeniería de los sectores productivos. Ese sector es muy débil en México y esta carencia es una de las razones por las cuales los sectores productivos ven a la academia como un proveedor de servicios sustituto; sin embargo, el modelo de vinculación resultante de este entorno es limitado porque la academia no tiene realmente la vocación ni la capacidad de ofrecer servicios tecnológicos con los estándares y en los tiempos requeridos por los sectores productivos, y porque ofrecer dichos servicios desvirtúa su actividad sustantiva, que es la formación de recursos humanos y la investigación de calidad. Consecuentemente los proyectos contratados por la industria o aquellos en los que la academia participa, por ejemplo en los apoyados actualmente por el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) del CONA-CyT, no son realmente de investigación de alto nivel ni se traducen normalmente en tecnología de punta.

Esta situación se puede ilustrar haciendo una analogía con el desarrollo de proyectos de ingeniería en el sector energético, como la construcción de pozos petroleros mar adentro o de plantas de generación de energía eléctrica. Estos megaproyectos siempre han involucrado la compra de tecnología de punta a empresas internacionales, como turbinas, generadores, transformadores, compresores, etc., pero adicionalmente requieren del desarrollo de ingeniería básica, como el diseño de instalaciones, de comunicaciones, etc., los cuales se hacen tradicionalmente por las empresas que venden la tecnología central, pero dado el tamaño y complejidad de los proyectos, también intervienen las divisiones de

ingeniería de PEMEX y CFE, así como empresas de ingeniería tanto nacionales como internacionales, y frecuentemente estos proyectos se desarrollan por consorcios formados por los tres tipos de empresas.

Adicionalmente, en este sector existen también el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que fueron creados como vanguardia de un modelo de investigación aplicada para el sector energético de México y que en un principio causaron una gran expectativa. Sin embargo, a finales de los ochenta y principios de los noventa estos institutos establecieron una política de autosuficiencia económica que los llevó a competir por proyectos con firmas de ingeniería nacionales e internacionales, por lo que sus objetivos de investigación se relegaron significativamente y en algunos casos se abandonaron, y aunque realmente no podían competir en el desarrollo de los proyectos en campo, para lo cual se requieren fuerzas laborales conformadas por miles de técnicos y obreros, sí compitieron en el desarrollo de la ingeniería, a pesar de la ventaja que tenían al ser empresas del estado con su ingreso asegurado en el presupuesto federal. Adicionalmente, las empresas de alta tecnología nacionales no han logrado consolidarse, lo que ha dado lugar a que el IMP, el IIE, así como el mismo Instituto de Ingeniería de la UNAM, por ejemplo, se constituyeran en proveedores privilegiados de servicios para PEMEX y CFE que se comercializan bajo la modalidad de “proyectos”. El resultado ha sido que estos institutos, en particular el IIE y el IMP, carezcan de líderes de investigación visibles, tengan un perfil muy modesto de investigación, una producción muy baja de artículos y patentes, y un número muy limitado de investigadores en el SNI.

Las limitaciones de este modelo se pueden resaltar imaginando un escenario alternativo en el que la directiva y los estímulos a los investigadores de dichos institutos se hubieran dirigido a la producción de patentes, a publicación de artículos en revistas de excelencia de investigación aplicada, a la creación de estándares de aplicación internacional o a la creación de bases de datos y recursos de información para apoyar las actividades logísticas del sector energético, y también a formar un acervo estratégico para el desarrollo del sector, que fuera referencia para las propias PEMEX y CFE, para las empresas de ingeniería y ser-

vicios tanto del entorno nacional como internacional, así como para el gobierno y la sociedad en general.

Independientemente de los méritos y/o limitaciones de estas empresas e instituciones, esta historia ilustra claramente lo que pasa cuando la academia o los institutos de investigación aplicada se convierten en firmas de ingeniería y servicios, que es exactamente lo contrario a lo que pasa en naciones con mayor madurez tecnológica donde existen muchas empresas de ingeniería que proveen servicios especializados a los sectores productivos, las cuales conviven en el ecosistema con institutos de investigación aplicada, pero donde estos últimos están orientados al desarrollo de tecnología en el mediano y largo plazo, con un gran impacto estratégico.

Regresamos ahora al ecosistema de la Computación el cual se puede analizar mediante la analogía con el energético. En el entorno de la Computación hay también grandes usuarios, como ya se ha expuesto, entre los cuales se cuentan los grandes bancos y aseguradoras, cadenas de almacenes y supermercados, compañías telefónicas y los mismos PEMEX y CFE, que tienen sus propios grupos de ingeniería de software; en este entorno hay también empresas de ingeniería para la creación de sistemas y servicios de software que participan como proveedores en la subcontratación de procesos de negocios o *Business Process Outsourcing* (BPO) y desarrollan sistemas de cómputo para los grandes clientes del ecosistema. Sin embargo, en México esta industria es todavía inmadura y no es posible señalar empresas nacionales consolidadas y ampliamente reconocidas por el público con las excepciones que se mencionan en el capítulo 1.

Más que señalar dicha carencia, lo que esta analogía pretende mostrar es que este tipo de empresas juegan un papel muy distinto a las generadoras de tecnología computacional propiamente, como IBM, HP, Microsoft, Google o Intel, independientemente de que estas últimas participen también en el mercado de desarrollo de aplicaciones e inteligencia de negocios. El desarrollo de una industria de software enfocada a BPO es por supuesto un objetivo de política económica, pero debería quedar dentro del alcance de programas para el desarrollo industrial, como por ejemplo PROSOFT.

Por supuesto los grandes clientes del ecosistema así como las empresas proveedoras de software pueden apoyarse directamente en el sector académico para realizar desarrollos estratégicos o resolver problemas altamente especializados, pero se debe tomar en cuenta que la lógica de interacción y comercialización así como las escalas de tiempos son muy diferentes de la dinámica de los sectores productivos. En el modelo actual, donde las firmas de ingeniería son muy escasas y de dimensiones muy modestas, se escucha frecuentemente que los clientes pueden contratar directamente a académicos si la solución rebasa a sus propios departamentos de ingeniería o si no hay firmas de ingeniería suficientemente especializadas; sin embargo, sería más apropiado fortalecer a las firmas de ingeniería que forman parte del sector productivo propiamente en vez de forzar a la academia en dinámicas que por una parte la rebasan y por la otra desvirtúan su misión y objetivos. Esta confusión es la que da lugar a programas del tipo PEI del CONACyT que, como ya se ha argumentado, es muy difícil que se traduzcan en la innovación genuina, cuando menos en el sector computacional. En este sentido una estrategia más congruente sería unificar los programas de apoyo a la industria informática a través de la Secretaría de Economía y enfocar los apoyos del CONACyT a esfuerzos que se traduzcan en la creación de tecnología computacional realmente innovadora.

Por todas estas razones es muy comprensible que el SNI y el sector científico en general tengan muchas reservas para considerar al desarrollo de proyectos como productos sólidos de investigación. Sin embargo, esta reserva se podría remover si se distinguen los proyectos aplicados de proyectos que por su estructura, métodos y resultados se enclaven claramente en el desarrollo tecnológico de punta. Una de las claves para establecer esta distinción está en crear estímulos diferenciados para generar patentes así como prototipos experimentales tanto de hardware como de software, que se puedan validar mediante *bench marks*, exposiciones y/o competencias internacionales de excelencia.

Algunos de estos productos, como las patentes, sí se toman en cuenta en el SNI, especialmente desde la creación de la Comisión de Tecnología, pero el esquema actual es incompleto ya que no involucra a la contraparte industrial. Para subsanar esta deficiencia es necesario enriquecer la cultura de las patentes



tanto en la academia como en el sector industrial y crear estímulos a lo largo de todo el ciclo de la patente, desde la solicitud inicial hasta la comercialización de productos con base en las mismas.

Como ya se ha dicho, la tecnología computacional es la que más genera patentes a nivel mundial y esto representa una oportunidad para nuestro entorno nacional. En México existe la creencia de que el software no se puede patentar, lo que es correcto en una primera lectura, pero se debe considerar también que el software es siempre la implementación de un modelo computacional que embebido en un dispositivo sí se puede patentar, como se ilustra en el capítulo 2. En particular, los requisitos para una patente son que el mecanismo físico o conceptual sea original, que su concepción requiera una labor inventiva y que exista una aplicación. De estos, los dos primeros son también los que se requieren para publicar un artículo de investigación y el tercero, aunque no es obligatorio en la investigación pura, sí es necesario en la aplicada. Por lo mismo, una proporción muy significativa de los artículos en Computación es susceptible de presentarse como patente. Consecuentemente es necesario aumentar los estímulos para patentar. Una consideración adicional es que los tiempos de las patentes son mucho más largos que los ciclos de evaluación de los investigadores, por lo que es necesario otorgar estímulos, aunque posiblemente con diferente peso, a cada fase del proceso de patentación: i) solicitud, ii) publicación y iii) otorgamiento.

Por su parte, el objetivo final de la patente es que se licencie, se desarrolle, se incluya en la construcción de prototipos y finalmente que forme parte de productos comercializables; sin embargo, paradójicamente, ni PROSOFT ni el PEI requieren que los proyectos que se otorguen involucren el desarrollo o la explotación de patentes. En todo caso, la mención de patentes mejora la presentación de estos proyectos y favorece la opinión positiva de los evaluadores, y aumenta las posibilidades de que se otorguen, pero las patentes en sí no son actualmente un requisito para obtener un apoyo para realizar proyectos de innovación en México. Por lo mismo, para cerrar el círculo de patentes es necesario que las empresas reciban apoyos diferenciados por i) licenciar una patente; ii) validar la patente por medio de escenarios de simulación y/o prototipos; iii) crear un producto o aplicación basada en la patente y iv) comercializar productos basados en

patentes. Una sugerencia que se sigue en este punto es que el tipo de proyectos en Computación e Informática que apoya el PEI actualmente pasen al ámbito de PROSOFT y que los estímulos del PEI se dirijan para apoyar a empresas que desarrollen productos con base en patentes, y que estos apoyos se incrementen conforme a las cuatro etapas mencionadas.

La propuesta en este sentido es incentivar la creación de una bolsa de patentes donde la oferta provenga del sector académico y la demanda del sector industrial. La lógica de las patentes exige grandes números: no todas las patentes solicitadas se otorgan, muy pocas de las otorgadas se licencian y muy pocas de las licenciadas llegan a formar parte de productos comerciales. Por lo mismo, si se incentivara más ampliamente a los investigadores a presentar sus ideas como patentes, de manera adicional al artículo científico, no sólo duplicarían su contabilidad de productos sólidos sino que también se desvincularían del incentivo perverso de convertirse en proveedores de servicios sustitutos. Por su parte, la industria tendría que voltear a las empresas de ingeniería de software para resolver sus problemas inmediatos, fortaleciendo de este modo dicho sector, y tendría también la opción de seleccionar patentes de la bolsa generada por los investigadores con el fin de crear productos y empresas que genuinamente desarrollen alta tecnología. Otra vertiente es la de investigadores que tienen el perfil empresarial, a quienes también es necesario valorar y estimular. Lo importante es que diferencien claramente sus roles y esferas de interés, y que reciban los incentivos como académicos y empresarios por sus resultados en cada una de estas esferas de su actividad.

El objetivo es revertir el círculo vicioso de las patentes, que padecemos hoy en día —de que no hay empresas de alta tecnología porque no hay patentes y no hay patentes porque no hay empresas de alta tecnología— mediante la creación de una oferta amplia de patentes por parte del sector académico. Muchas de estas patentes serán probablemente de carácter romántico y tendrán el destino romántico correspondiente, pero es posible que algunas tengan éxito y las adopte la industria, que una vez encaminada pueda empezar a producir patentes prácticas. Este es uno de los requisitos para la creación de empresas de alta tecnología y el consecuente mercado laboral para científicos e ingenieros con un alto nivel

de ingreso, y para la creación de una industria de manufactura de alta tecnología basada, en parte, en patentes cuyos titulares sean inventores mexicanos, cuyos productos se dirijan a los mercados nacionales e internacionales, y su valor agregado se convierta en riqueza que se derrame a la sociedad en general.

También es necesario considerar que los productos de alta tecnología se tienen que orientar al mercado mundial por lo que su distribución requiere de plataformas de comercialización global que sólo tienen los grandes corporativos internacionales. Esto representa un obstáculo adicional para las compañías nacionales que desarrollen productos con base en patentes obtenidas por inventores mexicanos, ya que aunque dichos productos estén a la altura de los estándares internacionales, es muy difícil que se puedan llegar a conocer y que puedan competir con los productos de las compañías emblemáticas del sector. Enfrentar esta disyuntiva requiere hacer una reflexión adicional a la dinámica comercial de las patentes de alta tecnología: en el modelo más simple, una patente da lugar a un producto concreto, cuya funcionalidad está claramente asociada al invento. Por ejemplo, el foco de Edison. Sin embargo, en el entorno tecnológico moderno, la situación es mucho más compleja y un producto de alta tecnología puede incluir decenas o incluso cientos de patentes, como es el caso de la computadora personal o del teléfono celular. Sin embargo, aunque el producto final se comercializa por la compañía emblemática, no todas las patentes son inventadas por la misma, y más bien se licencian a inventores externos que pueden estar en cualquier parte del mundo, y que reciben las regalías correspondientes.

Lo anterior nos abre un nicho de oportunidad, ya que si se contara con un banco de patentes como se describe arriba, éste se podría promover no sólo en el entorno local sino también en el internacional. Aunque el producto final seguiría teniendo la marca internacional, cada vez que se vendiera un ejemplar, se pagarían regalías al inventor. La riqueza generada entraría directamente a nuestro país y serviría de palanca para contar también con compañías mexicanas de alta tecnología de presencia mundial. Esta vía, aunque muy poco visible al público en general, podría ser la más viable en el corto y mediano plazo, con la ventaja adicional de que no nos enfrentaría necesariamente a la competencia directa con los grandes corporativos mundiales, sino más bien nos haríamos sus socios, compartiendo la riqueza que genera el mercado global de la tecnología.

Por todas estas razones, elevar la calidad de la investigación y que la riqueza generada por la Computación se derrame a la sociedad son objetivos relacionados. La manera de lograrlos es mediante estímulos apropiados. Los resultados no se van a dar de manera inmediata, pero los estímulos sí producen cambios en las prácticas y enfoques del trabajo que se pueden apreciar, en algunos casos en el corto, y de manera más general en el mediano y largo plazo.

## 6.2. POLÍTICAS DE ESTADO

Pasamos ahora a cómo incidir en la cadena del valor hacia adelante: de la educación a la valoración, de la valoración al estímulo, del estímulo a la acción y de la acción al logro. Esta perspectiva es de carácter estratégico, estructural y de largo plazo, por lo que atenderla corresponde al marco institucional y legal de nuestro país. Por lo mismo, las políticas que se definan bajo esta perspectiva deben ser independientes, en la medida de lo posible, de los ciclos políticos y económicos, de las presiones comerciales tanto internas como externas, que en ocasiones condicionan nuestro desarrollo por situaciones sumamente contingentes, e incluso de las tecnologías vigentes en un momento dado, que también obedecen en buena medida a modas y ciclos.

El primer eslabón de esta cadena es la educación. Aquí se tiene que contemplar desde el nivel preescolar hasta el posgrado, pasando por todos los niveles y orientaciones de la enseñanza. La sociedad del conocimiento se apoya de manera fundamental en la tecnología computacional y ésta requiere de una educación muy sólida. Por supuesto la formación científica y tecnológica presupone un entorno educativo integral, con docentes altamente calificados y con una infraestructura física y tecnológica adecuada. Lograr este entorno pasa en nuestro país por despolitizar al sector educativo y proveer condiciones laborales adecuadas y reconocimiento social a todos los maestros. Un ejemplo notable en este sentido es la política educativa de los países nórdicos, especialmente Finlandia, donde rige el principio de que si los maestros son los mejores, la sociedad será mejor en su conjunto. Por lo mismo, las escuelas para educadores tienen criterios de admisión muy estrictos, planes de estudio muy sólidos y, consecuentemente, gran prestigio y reconocimiento social. Por otra parte, el estado garantiza que los

maestros de todos los niveles educativos tengan un ingreso satisfactorio que les permita tener un nivel de vida digno. Este cambio de actitud en la concepción del sistema educativo es indispensable para mejorar a la ciencia, la tecnología y la Computación.

Otro aspecto de gran relevancia hacia el futuro es la flexibilidad de los planes de estudio y la currícula académica. Además de educar a especialistas sólidos en disciplina científicas y tecnológicas específicas es necesario fomentar la formación de personas con capacidades de investigación, abstracción y análisis, así como con habilidades en el uso de diversas tecnologías y muy particularmente en tecnologías computacionales; asimismo, es necesario que los egresados de nuestro sistema educativo cuenten con habilidades lingüísticas muy sólidas, de preferencia en varios idiomas. En particular, desde el presente enfoque, es necesario que la currícula incluya la formación del pensamiento computacional en todos los niveles y orientaciones educativas. El pensamiento computacional involucra una visión sistemática, analítica y sintética del mundo, donde la interacción entre los seres humanos y la tecnología, especialmente los sistemas de cómputo, forman parte esencial del conocimiento. El pensamiento computacional incluye al pensamiento lógico y matemático pero también a la Lingüística, la Psicología y la Sociología, entre una gama muy amplia de disciplinas científicas y tecnológicas, que podemos agrupar en las Ciencias Cognitivas. En este sentido la Computación no es sólo una herramienta tecnológica sino una de las metáforas que definirán al siglo XXI.

Es necesario considerar también que desde hace ya varias décadas un gran porcentaje de la población labora en rubros muy poco o nada relacionadas con sus estudios, y tiene que construir dinámicamente su orientación profesional. Esta tendencia será aún mayor a lo largo del presente siglo donde los cambios sociales y económicos producidos por la propia tecnología tendrán como consecuencia la aparición de nuevos retos profesionales, que requerirán habilidades e inventiva para afrontarlos, con el subsecuente cambio en la orientación de la actividad laboral. Asimismo, la creciente automatización ha provocado que muchas plazas se hayan sustituido por máquinas y esta tendencia se acentuará aún más a lo largo del presente siglo. Por estas razones es necesario que los egresados del sistema

educativo, en todas las etapas y orientaciones, tengan la capacidad de “reinventarse” una o más veces a lo largo de su vida laboral. Nuestro sistema educativo tiene que redefinirse de manera radical para afrontar estos retos.

De manera más general, la educación tiene que ser una herramienta para la vida. Uno de los grandes retos para que nuestro sistema educativo sirva es que el conocimiento y las habilidades de sus egresados les sean útiles para transformar y enriquecer su vida y consecuentemente a la sociedad en su conjunto. ¿Cuál es el estímulo para que un niño en las comunidades indígenas de México aprenda a leer y escribir si estas habilidades no las utilizará en su vida cotidiana, y por lo mismo no incidirán en mejorar su calidad de vida? La misma pregunta se puede hacer en el otro extremo del espectro donde el estudio de la ciencia y su aplicación a la tecnología han sido desde siempre una actividad contemplativa que en todo caso brinda reconocimiento, pero si de antemano se asume que México será siempre un consumidor pasivo de tecnología, generar “tecnólogos” es tan inútil como producir analfabetas funcionales.

Una educación sólida da lugar a una cultura rica y a una visión amplia del mundo. En este nivel es en el que se da la valoración. La disyuntiva aquí es seguir siendo dependientes tecnológicamente, o asumir el compromiso de la autodeterminación, donde el conocimiento nos permita identificar nuestros recursos, distinguir nuestros verdaderos problemas y canalizar dichos recursos para resolver estos problemas. Esto pudiera parecer trivial pero en un entorno de ignorancia plagado de intereses, muchos de ellos ajenos, es frecuente confundir ambos y terminar gastando lo que no tenemos en cosas que no necesitamos. Esto pasa en diversos entornos como el sector educativo, donde cada año se gastan miles de millones de pesos en tecnología computacional para mejorar la educación sin saber realmente cuál es el impacto de dicha tecnología, independientemente de los grandes negocios para sus proveedores e intermediarios, sin contar las desviaciones potenciales de los recursos.

Un caso particular de esta valoración, con implicaciones de largo plazo y que por lo mismo se debe abordar como política de estado, es la organización y orientación de las escuelas, facultades y posgrados en Computación e Informá-

tica. Como se menciona en el capítulo 4 en México hay actualmente más de 150 denominaciones para los estudios de esta disciplina en el nivel de licenciatura, las cuales se insertan de manera arbitraria en prácticamente todas las áreas científicas y tecnológicas. Asimismo, la calidad de los egresados se mide de acuerdo a cuatro perfiles adoptados por la ANIEI y el CENEVAL (Ciencias Computacionales, Informática, Ingeniería Computacional e Ingeniería de Software), cuya definición parece responder más a las necesidades del ecosistema, que requiere una gran cantidad de recursos humanos con orientación técnica, administrativa y comercial, que proveer un mapa conceptual que abarque todo el espectro de nuestra disciplina.

Adicionalmente hay un desbalance significativo entre los programas académicos con carácter técnico y los programas con carácter científico y tecnológico. Por otra parte los egresados de este último tipo de programas tienen muchas dificultades para encontrar trabajo con una orientación científica y tecnológica, tanto por el número muy reducido de plazas académicas como por la carencia de empresas que realmente desarrollen alta tecnología.

Un agravante adicional es la carencia de docentes con grado de doctor en el nivel de licenciatura, e incluso en muchos programas de maestría, por lo que los estudiantes realizan sus estudios en ambientes completamente desligados de la investigación y el desarrollo tecnológico; esta carencia incide también en otro círculo vicioso, ya que no hay empresas de alta tecnología por falta de recursos humanos calificados y no hay recursos humanos calificados por falta de empresas de alta tecnología.

Esta problemática es de alcance nacional y estructural por lo que revertirla requiere de acciones tanto en el plano académico como en el de las políticas públicas. En el primer caso es necesario definir una taxonomía de los estudios computacionales en la que sea posible distinguir claramente las subdisciplinas y especialidades, y a partir de la misma establecer un núcleo de conceptos computacionales, desde los conceptos generales, pasando por los de cada especialidad hasta los específicos de cada carrera técnica o profesional. Esta taxonomía, junto con sus conceptos asociados, puede servir como referencia para uniformar la de-

nominación de las carreras profesionales y técnicas así como la currícula y planes de estudios correspondientes.

En el plano de las políticas públicas es necesario crear el andamiaje institucional para formular dicha taxonomía, coordinar la creación de los núcleos conceptuales asociados y darle seguimiento, dado el contexto sumamente dinámico de la Computación. Esta acción se requiere llevar a cabo de manera conjunta con el gobierno y las asociaciones profesionales del ramo, incluyendo a la propia Academia Mexicana de Computación. Es asimismo necesario contar con la infraestructura institucional y legal para verificar que las universidades, tecnológicos, escuelas y centros educativos que ofrezcan carreras profesionales y técnicas adopten dichas recomendaciones de organización y calidad, sin que esto entre en conflicto con la autonomía académica. Las universidades e institutos autónomos definen y regulan sus programas de estudio, pero esto debe ser compatible con adoptar criterios de organización y calidad que faciliten la interacción con el resto de las instituciones académicas y los demás actores del ecosistema.

Una de las razones de la situación caótica que se padece en este momento es la gran diversidad en el grado de madurez institucional y solidez de las propias instituciones académicas, que va desde las grandes universidades e institutos tecnológicos, donde la creación de un programa académico es el producto de un proceso de reflexión muy profundo en el que intervienen diversas instancias colegiadas, a las pequeñas escuelas privadas, en muchas ocasiones propiedad de una familia o un individuo, que se ostentan como “universidades”, que crean sus carreras de manera personal como reacción a los estímulos que perciben del mercado educativo. Por lo mismo, parte de la solución a la problemática actual involucra distinguir legalmente a las universidades e institutos tecnológicos propiamente –que ofrecen desde la licenciatura hasta el doctorado y realizan investigación de frontera, con programas académicos sólidos y criterios de calidad apropiados– de las escuelas profesionales o centros educativos que ofrecen sólo estudios técnicos y de licenciatura, con una orientación aplicativa y que responden meramente a la dinámica del mercado de la educación profesional.



Otra acción que podría contribuir a revertir la situación actual es reestructurar a las instituciones académicas de tal forma que los niveles de licenciatura y posgrado estén ligados de una manera muy estrecha y compartan recursos humanos con diferentes grados de madurez y experiencia, desde los niveles más básicos hasta el nivel de excelencia internacional. En particular y de manera consistente con una fuerte tendencia internacional, las grandes universidades podrían crear su “Facultad de Computación e Informática” en la que se aglutinaran todos los niveles educativos, desde la licenciatura hasta el posgrado y la investigación, con una sola facultad o colegio académico, que asumiera la responsabilidad de la orientación y calidad de la educación y la investigación de manera integral. Un esquema de esta naturaleza permitiría distinguir los perfiles de egresados de manera mucho más clara y satisfacer tanto las necesidades del ecosistema actual como la demanda del sector de alta tecnología que se requiere.

La carencia de una taxonomía apropiada de las especialidades de la Computación tiene su expresión en la investigación y el desarrollo tecnológico. En particular, el catálogo de disciplinas y especialidades que utiliza CONACyT para clasificar investigadores, artículos, proyectos de investigación, etc., se formuló cuando la Computación tenía una presencia muy limitada y era muy mal comprendida en nuestro entorno; ni siquiera correspondía a la orientación de los investigadores ni a la actividad de la disciplina en esas fechas, además de que dicho catálogo se importó directamente del extranjero; por todas estas razones las categorías de la Computación nunca han tenido una utilidad práctica en nuestro país. Adicionalmente, la Computación siempre se ha considerado como una disciplina subordinada y tiene muy poca visibilidad en las instancias de la actividad científica y tecnológica de México. Por ejemplo, no hay una sección de Computación en la Academia Mexicana de Ciencias ni en la Academia Mexicana de Ingeniería, y no hay tampoco una área del SNI para esta especialidad. Como consecuencia, los investigadores en Computación tienen una visibilidad académica y social mucho menor de lo que corresponde a la especialidad, y el área se encuentra en general subrepresentada. Por estas mismas razones los investigadores de Computación en el SNI están distribuidos en prácticamente todas las áreas, aunque en ninguna tienen alta presencia; en particular, en el Área VII del SNI, donde se ubica a la Computación entre las ingenierías, los criterios de eva-

luación son sumamente desfavorables para esta comunidad; más aún, la comisión de evaluación del área ha sido reacia a cambiar su postura y no ha sido posible organizarla en secciones (Química, Materiales, Control, Computación, etc.) como sucede en las comisiones de otras áreas. La comunidad de Computación nacional ha promovido en varias ocasiones la creación de una nueva área del SNI para esta disciplina, la primera a raíz de la reflexión crítica de la historia y perspectivas que se dio en torno al Congreso 50 Años de la Computación en México, organizado por la UNAM y la Red Mexicana de Investigación y Desarrollo en Computación (REMIDEC) en el 2008, pero no ha habido una respuesta positiva por parte de las autoridades ni tampoco por parte de los representantes de las otras disciplinas, en especial del Área VII. Aunque en este momento no hay condiciones para seguir promoviendo esta iniciativa, es probable que una acción de este tipo se dé en el mediano plazo, simplemente para atender al crecimiento de la disciplina, que en pocos años puede rebasar significativamente las capacidades de evaluación del SNI en su configuración actual.

Por estas razones, dentro de la política pública para la ciencia y la tecnología, es necesario actualizar los catálogos de disciplinas y especialidades, y reorganizar la actividad científica de manera más simple y transparente. Más aún, a la luz de las profundas transformaciones científicas y tecnológicas que se vivieron en la segunda parte del siglo XX y lo que va del presente, este ejercicio es necesario para reorganizar toda la actividad científica y tecnológica y no sólo la Computación.

Otra carencia muy significativa en relación a otras disciplinas científicas y tecnológicas en México es que existen muy pocos institutos y centros de investigación en Computación. Con la excepción del Centro de Investigación en Computación (CIC) del IPN, ninguna otra universidad o instituto tecnológico en nuestro país cuenta con un instituto o centro de investigación en Computación con visibilidad nacional e internacional; ni siquiera la UNAM, donde se originó la Computación en nuestro país, ha logrado crear un instituto de investigación para esta disciplina. Por lo mismo, como parte de la definición e implementación de la política de estado para el desarrollo de la ciencia y la tecnología computacional se debería promover la creación de institutos y centros de investigación

en Computación dentro de las universidades estatales, las universidades privadas y las grandes universidades públicas en nuestro país.

Una propuesta específica que surge de la presente reflexión es crear el Instituto Nacional de Investigación en Computación, con la misión de participar activamente en la discusión y seguimiento de las problemáticas aquí abordadas, además de hacer investigación de punta en las especialidades de la Computación que se practican en México. Éste podría tomar la forma de un Centro Público de Investigación CONACyT ubicado en algún lugar estratégico donde se pudiera convocar y conjuntar a la comunidad mexicana de Computación.

El desarrollo de la Computación requiere de una organización y estructura que abarque a la educación, la investigación y el desarrollo tecnológico de manera integral, y consecuentemente de un ente que sirva como referencia de toda la actividad, que sea capaz de supervisar y dar seguimiento a la problemática planteada, y que sirva como interlocutor de la comunidad ante los diversos actores de la definición e implementación de la política científica y tecnológica de México, así como con el sector educativo y los sectores productivos. Este papel lo deben asumir las diversas sociedades y asociaciones de nuestra especialidad y, en particular, la Academia Mexicana de Computación.

La definición y reglamentación de estas políticas debería también ir de la mano con las políticas de estímulos para fomentar la generación de patentes para el sector académico, así como la generación y desarrollo de productos basados en patentes por parte de los sectores productivos. En este rubro es muy importante considerar también el fortalecimiento y maduración de las estructuras institucionales para mantener una actividad de vinculación constante. Para este efecto las oficinas de vinculación e innovación de las diversas universidades e institutos tecnológicos deben fomentar la creación de la bolsa de patentes ante la comunidad académica y de investigación, asistir a los inventores en la redacción y registro de las patentes ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) y dar seguimiento desde la solicitud hasta el otorgamiento, tanto en México como en el extranjero. Por otra parte es también de suma importancia que estas unidades promuevan las patentes ante las empresas productivas, tanto

nacionales como internacionales, para que las patentes se conozcan y los empresarios tengan los elementos para desarrollarlas e incorporarlas en productos comerciales específicos. Este agente de enlace entre el inventor y las empresas que exploten las patentes es esencial, y el Estado debe crear las políticas y proveer los recursos para mantener esta actividad en el largo plazo. Asimismo, dentro de la lógica de la cadena del valor es indispensable que este sector se estimule apropiadamente y que sea reconocido por los inventores, los empresarios y la sociedad en general. El fortalecimiento y maduración de este sector se debe abordar también en el contexto de las políticas de estado.

Además de las políticas de estado para la educación, la ciencia y el desarrollo tecnológico, es necesario crear un marco legal y regulatorio que fomente el crecimiento y maduración de todos los actores del ecosistema. En particular es necesario fomentar y vigilar que los diversos sectores atiendan sus objetivos naturales y se relacionan entre sí de una manera sana. Las políticas de estímulos esbozadas arriba sólo son viables si los actores son fieles a su naturaleza y visión: hay que distinguir la política para el fortalecimiento y maduración de la ciencia y el desarrollo tecnológico de la política para el desarrollo de los sectores productivos. El CONACyT y la Secretaría de Economía atienden diferentes aspectos del desarrollo nacional y aunque haya rubros en los que los alcances de sus políticas coincidan, los deben de abordar desde perspectivas diferentes. Las políticas para el desarrollo económico, que incluyen el desarrollo de una industria de software sólida, le corresponden a la Secretaría de Economía y las políticas para el desarrollo de la Computación como una disciplina científica y tecnológica al CONACyT. Por otra parte, México no cuenta con un mercado laboral de alta tecnología ni una planta industrial cuyos productos se basen en patentes por inventores mexicanos, y crear esa planta depende del gobierno, la academia, los sectores productivos y la sociedad en general, pero cada uno desde su propia perspectiva. Se trata de que cada sector aborde la parte de la problemática que le corresponde y asuma su responsabilidad, y de prevenir que un sector absorba o subordine a otro. Mantener la independencia y fomentar la maduración de cada sector, y al mismo tiempo fomentar que se establezcan relaciones productivas, debe ser una política de estado. Las decisiones de qué y cómo estimular en cada

situación específica se determina por el grado de madurez y el balance entre los sectores en un momento dado.

Con esto concluimos nuestra exposición acerca del estado de la Computación en México así como nuestras sugerencias de las políticas y estrategias que se requieren para su desarrollo. Nuestro análisis tiene como eje la cadena del valor: se valora lo que se conoce, se estimula lo que se valora, se hace lo que se estimula y se tiene lo que se hace. En el plano de la Computación tenemos que actuar en cada uno de los eslabones de esta cadena y abordarla en los dos sentidos: hacia adelante, de la educación al estado que vivimos actualmente, mediante la definición de políticas de estado con vistas al mediano y largo plazo, y hacia atrás, del estado actual hacia sus causas, a través de la definición de políticas de estímulos que reorienten la actividad para bien en el corto y mediano plazo. Desde la primera perspectiva es necesario establecer políticas para mejorar la educación en todos sus niveles y orientaciones; para identificar nuestros recursos y nuestras verdaderas necesidades; para evitar gastar lo que no tenemos en cosas que no necesitamos y de esta forma optar por nuestra autodeterminación. Se trata de valorar más la creación de la tecnología y de superar la actitud pasiva ante la misma que priva hoy en día; se trata de valorar más la creatividad y la inventiva, para que México sea un participante activo en la ciencia y el desarrollo tecnológico en el entorno internacional. Desde la segunda perspectiva, para crear estímulos que se traduzcan en acciones para mejorar y para inhibir las distracciones que no nos permiten avanzar con la rapidez que necesitamos. Se trata finalmente de definir políticas de estado y políticas de estímulos para mejorar la calidad de la educación y de la investigación, y para que la riqueza que genera la tecnología computacional se derrame a la sociedad. Se trata de contribuir a construir un México más rico, donde las referencias sean la calidad y el valor.

*Políticas y estrategias para el desarrollo de la Computación en México,*  
se terminó de imprimir en octubre de 2016 en  
Agys Alevín S. C. Retorno de Amores No. 14-102.  
Col. Del Valle. C. P. 03100, Ciudad de México.  
En su composición se utilizó tipo Garamond.  
Impreso en papel couché mate de 115 grs.  
La edición consta de 280 ejemplares.







