

# La transformación tecnológica y la innovación

Esperanza Carrasco Licea\*

**E**n 1989, al tiempo en que se estaba constituyendo el Instituto de Estudios para la Transición Democrática (IETD), se lograba la primera conexión a internet en nuestro país gracias a la iniciativa y las gestiones de Gloria Koenigsberger Horowitz. Sin duda, internet<sup>1</sup> ha sido una de las transformaciones tecnológicas que ha tenido mayor impacto mundial en las últimas décadas. Si bien la conexión entre computadoras se empezó a desarrollar desde fines de la década de 1960, fue a principios de la década de 1990 cuando internet se extendió de Estados Unidos al resto del mundo. La llegada a México se debió a que la doctora Koenigsberger, investigadora del Instituto de Astronomía de la UNAM, buscaba tener acceso a los datos del observatorio espacial International Ultraviolet Explorer, cuya base de datos se encontraba en Boulder, Colorado.<sup>2</sup> Este acontecimiento es un ejemplo de cómo las necesidades científicas promueven la aplicación de tecnología de punta que después se extiende a otros sectores de la sociedad.

En las últimas décadas, los esfuerzos por colaborar internacionalmente en torno a proyectos de gran calado se acentuaron considerablemente gracias al rápido acceso a los nuevos resultados, al avance constante de las tecnologías de la información, al reconocimiento de que son en beneficio de las partes, a la indispensable interdisciplinariedad y a que, en la mayoría de los casos, solo pueden llevarse a cabo con un financiamiento que se distribuya entre las instituciones de los países o de los organismos internacionales participantes.

Una de las primeras grandes colaboraciones científicas europeas es el CERN,<sup>3</sup> laboratorio fundado en 1954 cerca de Génova. Su objetivo principal es entender cuál es la naturaleza de nuestro universo, de qué está hecho. Se trata del laboratorio de partículas elementales más grande del mundo. En la actualidad, más de 17 000 científicos provenientes de cerca de 600 instituciones han visitado y usado los laboratorios e instrumentos del CERN. El presupuesto de operación anual solo

\* Astrónoma. Investigadora del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAE).

<sup>1</sup> Internet se refiere al sistema global de información que tiene las siguientes características: I] Está interconectado a nivel lógico por un único espacio global de direcciones basadas en el Internet Protocol (IP) o sus extensiones/adiciones futuras; II] Es capaz de efectuar las comunicaciones utilizando el Transmission Control Protocol/ Internet Protocol (TCP/IP) o sus extensiones/adiciones futuras, en otros protocolos compatibles con el IP, y III] Proporciona, utiliza o hace accesible, ya sea en forma pública o privada, servicios de alto nivel que conforman capas superpuestas a la infraestructura de comunicaciones.

<sup>2</sup> Gloria Koenigsberger, *Los inicios de Internet en México*, México, DGDC-CIC-IA-DGTIC, UNAM, 2014, <<http://www.dgdc.unam.mx/libros/libros/libro/9786070256172>>.

<sup>3</sup> *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*.

de los países miembros suma cerca de 1 200 millones de dólares. Existen además otras contribuciones de países asociados y convenios de colaboración específicos, como es el caso de México.

No sorprende del todo que la red de redes (World Wide Web) se haya desarrollado justamente en este gran laboratorio internacional. Inicialmente se concibió como un medio para compartir información científica, pero la web creció hasta ser una tecnología esencial para la sociedad. El 12 marzo de 2019 se celebró en el CERN el 30 aniversario del documento titulado “Information Management: A Proposal” elaborado por Tim Berners-Lee. De acuerdo con la directora general del CERN, Fabiola Gianotti,

Tal documento reflejaba una visión que transformó la sociedad, el acceso a la información y la forma en que nos conectamos a nivel global. Esa visión cristalizó en la red de redes... Este hecho permite resaltar el poder de la investigación fundamental para empujar la innovación. La ciencia básica con sus ambiciosas metas lleva el desarrollo de tecnologías al límite de lo posible en muchas áreas que pueden tener un impacto profundo en la sociedad.<sup>4</sup>

En el ámbito mundial, en los últimos 30 años el hito en el conocimiento del *Homo sapiens* fue el proyecto Genoma humano. Se articuló conceptualmente en 1988 en Estados Unidos por un comité especial de la Academia Nacional de Ciencias. Posteriormente, lo adoptaron conjuntamente los Institutos Nacionales de Salud y el Departamento de Energía por medio de una serie de planes quinquenales muy detallados con financiamiento del Congreso de ese país. En 1990 la fase de planeación inicial concluyó con la publicación del programa de investigación “Understanding Our Genetic Inheritance: The Human Genoma Project, the First Five Years, FY 1991-1995”. Dicho programa definió las metas específicas para los primeros cinco años de un esfuerzo de investigación que habría de durar 15 años,<sup>5</sup> con un costo de 2 700 millones de dólares.

El Consorcio Público Internacional de Secuenciación del Genoma Humano publicó el primer artículo en la revista *Nature* en septiembre de 2001, con un avance de 90% y con mas de 2 800 investigadores en coautoría. La secuencia completa se publicó en abril de 2003. Esto ha dado a la humanidad un recurso de información detallada respecto a la estructura, organización y función del conjunto completo de los genes humanos. Ha sido un agente transformador de la medicina que da un poder inmenso a los profesionales de la salud para tratar, prevenir y curar enfermedades. Con base en esos resultados se emprendieron líneas de investigación que dieron lugar a nuevas especialidades como la medicina genómica, proteómica, farmacogenómica, nutrigenómica y genómica comparada, entre otras.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Traducción propia. CERN, *30th Anniversary of the World Wide Web (resync)*, 2019, <<https://www.youtube.com/watch?v=pJrAUGpFnPw&feature=youtu.be>>.

<sup>5</sup> “What is the Human Genome Project?”, Genome.gov, 2019, <<https://www.genome.gov/human-genome-project/What>>.

<sup>6</sup> Leticia Mendoza Martínez, “Proyecto Genoma humano y medicina genómica en México: su efecto en instituciones y organismos, en lo político y en la sociedad”, *Revista Casa del Tiempo* IV, núm. 35, 2010, pp. 29-33.

En México, el sector Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), entendido como toda la actividad de generación de conocimiento original o aplicado, de innovación y desarrollo tecnológico proveniente de cualquier área de las ciencias físicas y naturales o las sociales y las humanidades<sup>7</sup> ha aumentado en las últimas décadas como resultado de esfuerzos de distinta índole, entre ellos la descentralización así como la creación y paulatina consolidación de instituciones involucradas en el sector, como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), las academias de Ciencias, Ingeniería, Medicina, Lengua e Historia, el Sistema de Centros Públicos de Investigación (CPI), los Institutos Nacionales de Salud y la Comisión Coordinadora de Institutos Nacionales de Salud y Hospitales de Alta Especialidad, Consejos Estatales, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT), diversas instituciones de educación superior, el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y las becas para estudios de posgrado.<sup>8</sup>

La descentralización se inició en 1971 con la inauguración del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) como heredero directo del Observatorio Astrofísico Nacional de Tonantzintla, que había sido creado en 1942. Continuó mayormente durante los siguientes 20 años. De los 26 centros y un fideicomiso que forman el sistema de CPI del Conacyt, solo cinco se formaron después de 1990 y el último se fundó en 2001.<sup>9</sup> Actualmente el Sistema de CPI es el de mayor cobertura en el territorio nacional: entre sedes, subsedes y consorcios, tiene instalaciones en 100 ciudades del país y en 30 entidades federativas que aportan al espectro completo de temas prioritarios de CTI. Por medio de distintos esquemas de financiamiento, como los fondos mixtos y sectoriales, el sistema CPI ha abordado problemas tanto regionales como nacionales. Cuenta con cerca de 4 700 investigadores y por el número de miembros del SNI, el sistema ocupa el segundo lugar, solo después de la UNAM. Asimismo, como sistema ofrece el mayor número de posgrados en el país, por encima de la misma Universidad, del Instituto Politécnico Nacional, de la Universidad de Guadalajara y la de Nuevo León.

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, fundado en 1961 con la misión de preparar investigadores y tecnólogos especializados, cuenta con 650 investigadores y 33 departamentos, y tiene en la actualidad presencia en 10 estados. Por su parte, la UNAM y el IPN también han pasado por un proceso de descentralización importante.

Como ha sucedido en todo el mundo, en México, en cierta medida, se ha transitado de la actividad científica focalizada en lo individual a participar en proyectos de mayor alcance tanto a nivel nacional como internacional. El mayor proyecto científico de México en la historia es el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM). Se trata de una colaboración internacional, liderada en México por el INAOE, con la Universidad de Massachusetts/Amherst. Comenzó en 1988 y fue apro-

<sup>7</sup> UNAM, “Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación. Objetivo estratégico para una política de Estado 2018-2024”, 2018.

<sup>8</sup> *Idem.*

<sup>9</sup> “Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)”, 2019, <<https://www.ipicyt.edu.mx/>>.

bado binacionalmente en noviembre de 1994. Ubicado en la Sierra Negra, Puebla, es una antena de 50 m de diámetro, la de mayor tamaño en su tipo. El costo de construcción fue de cerca de 200 millones de dólares y opera regularmente desde 2013. De cara al financiamiento, el GTM tuvo que enfrentar obstáculos monumentales cuando en realidad la inversión gubernamental fue apenas equiparable a la contribución anual para gastos de operación del CERN de algunos de los países miembros con economías similares a la de México.

A pesar de las dificultades que enfrentó durante la fase de construcción, el GTM es un proyecto de orgullo nacional que contribuye a la cohesión social. Lo mismo podría decirse del Observatorio de Rayos Gamma, HAWC,<sup>10</sup> ubicado en las inmediaciones del GTM. Ambos proyectos han tenido un impacto científico internacional en la formación de nuevos investigadores y también uno muy positivo en el acercamiento al conocimiento de niños y jóvenes en el país mediante diversas actividades de divulgación.

El SNI, creado en 1984 para compensar los bajos salarios de los investigadores, ha contribuido al desarrollo científico como un sistema de evaluación cuyo éxito radica en que se basa en comisiones de pares, las cuales son públicas y autónomas, modelo similar seguido para definir comisiones públicas y transanuales en el Conacyt. Sirve también como un parámetro del avance de la ciencia: el SNI pasó de 5 700 miembros en 1990 a más de 28 000 en 2018, lo que representa un aumento de 390% debido, en gran medida, a que profesores contratados por universidades en todo el país han tenido incentivos para realizar investigación científica y tecnológica, así como una apreciable cantidad de médicos que como parte de sus actividades realizan investigación en salud.

Un modelo innovador de organismo gubernamental es la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), creada en 1992. Se trata de una comisión intersecretarial, integrada por diez secretarías de Estado.<sup>11</sup> Ampliamente reconocida en todo el mundo, promueve, coordina y apoya actividades de gestión y regulación de otros centros de decisión gubernamentales, así como a la academia y a la sociedad. Construyó y opera el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, para dar información y consejos tanto a entidades mexicanas como extranjeras. Ha sido exitosa porque está dirigida por científicos, opera con las mejores tecnologías disponibles a partir de internet y está en permanente vinculación con lo que sucede en el mundo.<sup>12</sup>

Si bien México no participó en el proyecto Genoma humano, sí aprovechó la oportunidad de sus avances y enseñanzas para el desarrollo de la medicina genó-

<sup>10</sup> High Altitude Water Cherenkov Observatory. Colaboración entre 10 instituciones mexicanas, 10 estadounidenses y 3 europeas liderada en México por el INAOE y en Estados Unidos por la Universidad de Maryland y el laboratorio de Los Álamos.

<sup>11</sup> Medio Ambiente y Recursos Naturales (Sernamat), Agricultura y Desarrollo Rural (Sader), Bienestar (SB), Economía (SE), Educación Pública (SEP), Energía (Sener), Hacienda y Crédito Público (SHCP), Relaciones Exteriores (SER), Salud (SSa) y Turismo (Sectur).

<sup>12</sup> Executive Office of the President of the United States, "Report to the President, Sustaining environmental capital: Protecting society and the economy", 1 de julio de 2011, <<http://www.conabio.gob.mx/web/conocenos/pdf/Reporte%20pcast%20al%20presidente%20USA%202011.pdf>>.

mica en nuestro país. El Instituto Nacional de Medicina Genómica se fundó en 2004 como resultado de un esfuerzo de diversas instituciones que realizaron gestiones durante varios años, con el propósito de contribuir al cuidado de la salud desarrollando investigación científica de excelencia. Asimismo, tiene una vocación internacional: su visión es ser una institución líder indiscutible en México y uno de los principales polos de desarrollo de la medicina genómica en el mundo.<sup>13</sup>

Es sabido que los países que han logrado mayor desarrollo son aquellos que han considerado la ciencia como una prioridad nacional y han invertido en CTI de manera creciente y sostenida durante décadas. Desafortunadamente en México nunca se ha tenido esa visión. Como resume José Sarukhán,<sup>14</sup> el sistema de CTI es reciente, pequeño, de relativamente buena calidad pero completamente subutilizado, subvalorado y subapoyado.

El financiamiento a dicho sistema siempre ha sido insuficiente. Indicadores como la inversión en CTI medida por el gasto en investigación y desarrollo experimental (GIDE), muestran que ha oscilado entre 0.35 y 0.5% del PIB, lo que resulta bajísimo dentro del bloque de los países de la OCDE, cuyo promedio es de 2.4%. En los últimos 20 años no ha cambiado la cobertura en educación superior, que es de 36%, ni el número de tres investigadores por cada 10 000 habitantes, así como la cifra de 0.8 investigadores por cada 1 000 habitantes de la población económicamente activa. La inversión proviene principalmente del sector público federal, a diferencia de lo que sucede en países con alto nivel de desarrollo, en los que las empresas privadas invierten en investigación básica y aplicada.

La falta de inversión se refleja en diversos aspectos, pero de manera notable en la falta de creación de nuevos centros de investigación y de universidades. No se han creado nuevas plazas para investigadores, personal administrativo y operativo en los centros de investigación del Conacyt desde que inició el gobierno del presidente Fox en el año 2000. Las plazas de catedráticos del Conacyt han representado un respiro para la integración de nuevos investigadores y es un esfuerzo que merece reconocimiento. Sin embargo, las posibilidades de éxito de estos investigadores y de las siguientes generaciones están muy limitadas precisamente por la falta de inversión en infraestructura científica.

Dadas las características de su economía y población, en México deberían desarrollarse simultáneamente varios proyectos específicos nacionales de infraestructura científica de gran envergadura, como las iniciativas a una escala de 100 a 200 millones de dólares de inversión en construcción, cuyos gastos de operación anuales son generalmente de 10% de la inversión en la construcción.

Se deben definir áreas estratégicas con proyectos de ciencia disruptiva, por su valor e impacto intrínsecos pero también para el desarrollo de capacidades. Como ejemplos de la madurez, iniciativa e intenso trabajo de la comunidad científica nacional cabe mencionar proyectos como los buques de investigación ocea-

<sup>13</sup> "Instituto Nacional de Medicina Genómica", 2019, <<https://www.inmegen.gob.mx/el-instituto/mision-vision-y-valores/>>.

<sup>14</sup> Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C, *Reflexiones sobre ciencia, tecnología e innovación en los albores del siglo XXI*, México, Gustavo Casasola, 2014, p. 41.

nográfica y geofísica marina, el Sincrotrón, el Telescopio de San Pedro Mártir y la creación de un centro de investigación en virología,<sup>15</sup> entre otros. En este tipo de proyectos se siguen las prácticas internacionales comunes en grandes proyectos científicos. Se llevan a cabo estudios de viabilidad, diseños conceptuales, diseños detallados y planes de gestión, entre otros. Son proyectos evaluados regularmente por comités nacionales e internacionales de expertos. Se trata de metodologías indispensables para llevar a cabo exitosamente proyectos científicos complejos. Estas nuevas formas de trabajo se han adquirido debido a la participación de miembros de la comunidad científica en colaboraciones internacionales.

Se requiere una visión de largo alcance en la que se reconozca el valor que tiene la generación de conocimiento como principal producto de la ciencia y como motor del desarrollo económico y social. En el corto plazo se debe incrementar el GIDE hasta 1% de PIB y llegar al promedio de la OCDE de 2.4% a mediano plazo para alcanzar metas de desarrollo ambiciosas. La inversión debe ir acompañada de una verdadera política de Estado para la expansión y el fortalecimiento del sistema CTI, que incluya el andamiaje institucional requerido en el que participen todos los actores y que garantice continuidad más allá de los ciclos sexenales. Los gobiernos de los estados deben asumirse como actores fundamentales en la promoción del sector CTI. Asimismo, se deben fortalecer y diversificar los esfuerzos para que las empresas aumenten la inversión en investigación básica y aplicada para contribuir a crear empleos atractivos para personal altamente calificado.

Como lo ilustran el caso del CERN, del proyecto Genoma humano y en México del Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano, entre otros, los desarrollos de ciencia básica toman décadas en avanzar y concretarse, por lo que es necesario visión y financiamiento a largo plazo. La mejor estrategia para la innovación es apoyar la investigación básica que está movida por la curiosidad sin rumbo fijado porque, por definición, no se puede predecir un descubrimiento. El gobierno, en representación de los ciudadanos, tiene que apoyar las investigaciones que impliquen riesgos y puedan requerir mucho tiempo.

Es necesario insistir ante los tomadores de decisiones en que, además del valor intrínseco del conocimiento, que contribuye a entender la naturaleza, los proyectos científicos llevan de manera directa o indirecta a patentes o desarrollos tecnológicos, transferencias de tecnología, a aplicación y apropiación de tecnología o a soluciones que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En un estudio realizado por la UNAM en 2018,<sup>16</sup> elaborado por diversos actores del circuito científico como miembros de las principales instituciones de educación superior, de agrupaciones académicas, centros e institutos públicos de investigación, dependencias gubernamentales, empresas y fundaciones, se presentó el diagnóstico, análisis y recomendaciones puntuales de la comunidad nacional en CTI para el periodo 2018-2024. El documento retoma una iniciativa similar realiza-

<sup>15</sup> William Lee, "Ciencia en México, ¿para qué?", *Ciencia* 70, núm. 2, abril-junio de 2019.

<sup>16</sup> UNAM, "Hacia la consolidación y desarrollo de políticas...", *op. cit.*

da por primera vez en la última transición de la administración pública federal<sup>17</sup> y refleja que la comunidad, pese a ser pequeña, se ha consolidado, es activa y propositiva.

Se debe aprovechar y reforzar lo construido como las academias científicas y otros organismos como el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCYT), cuyas funciones están establecidas en la Ley de Ciencia y Tecnología. Cabe destacar el papel de este último como un organismo autónomo asesor de los poderes Ejecutivo y Legislativo, y miembro de la junta de gobierno del Conacyt, que convoca a los diferentes actores de la comunidad científica, académica, tecnológica y del sector productivo con el propósito de promover el diálogo para generar propuestas de políticas en CTI. Si bien se requiere actualizar la Ley de Ciencia y Tecnología,<sup>18</sup> para introducir mejoras ya identificadas en la práctica hay que reconocer que el contar con dicha ley desde 2002 ha generado múltiples beneficios. Uno de ellos es que se ha sistematizado la información por medio de informes periódicos del Conacyt y del FCCYT, entre otras instancias, con datos duros, indispensables para el diagnóstico, la generación y la evaluación de políticas públicas.

Los científicos tal vez debamos esmerarnos aún más en socializar el valor de la ciencia, como un bien público que contribuye al desarrollo económico y bienestar de la población, pero también la clase política debe esforzarse por entender los beneficios de invertir en CTI ya que es una responsabilidad del Estado llevar a México a una sociedad basada en el conocimiento.

Dado que las recomendaciones se han puesto por escrito en documentos y en espacios conformados por la comunidad científica y otros agentes interesados en el desarrollo de CTI en México, el trabajo encaminado al desarrollo de políticas públicas en esta materia resulta fundamental para aspirar a que en algún momento México sea el lugar de origen de proyectos de gran calado para el país y la humanidad como el Genoma humano, por ejemplo, el cual fue financiado en sus etapas iniciales por el Congreso de Estados Unidos.Ω

<sup>17</sup> “Hacia una Agenda Nacional en Ciencia, tecnología e innovación”, 2012, <[http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/agenda\\_nal\\_cti\\_extenso\\_260912.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/agenda_nal_cti_extenso_260912.pdf)>.

<sup>18</sup> UNAM, “Hacia la consolidación y desarrollo de políticas ...”, *op. cit.*, cap. XII.