



# El paradigma de la convergencia del conocimiento

## Alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario



# El paradigma de la convergencia del conocimiento

Alternativa de trabajo colaborativo  
y multidisciplinario

Mónica Casalet Ravenna  
(coordinadora)



**FLACSO**  
MÉXICO

---

306.45

P2221 El paradigma de la convergencia del conocimiento : alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario / Mónica Casalet Ravenna (coordinadora), [Mónica Casalet Ravenna y otros dieciocho]. – México : FLACSO México, 2017.  
270 páginas : gráficas ; 23 cm.

ISBN: 978-607-8517-12-1

1. Desarrollo Científico y Tecnológico – Aspectos Sociales 2. Ciencia – Aspectos Sociales 3. Industria – Políticas Públicas 4. Biotecnología – Aspectos Sociales 5. Tecnología de la información – Aspectos Sociales 6. Trabajo en Grupo I. Casalet, Mónica, coordinadora

---

Primera edición: junio de 2017

D.R. © 2017, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede México,  
Carretera al Ajusco 377, Héroes de Padierna, Tlalpan, 14200 Ciudad de México  
[www.flacso.edu.mx](http://www.flacso.edu.mx) | [public@flacso.edu.mx](mailto:public@flacso.edu.mx)

ISBN 978-607-8517-12-1

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por parte de académicos externos de acuerdo con las normas establecidas por el Consejo Editorial de la Flacso México.

Este libro fue realizado con el financiamiento del Proyecto de Ciencia Básica Conacyt 166856, "Acuerdos de colaboración para la vinculación: Diferentes estrategias productivas y de vinculación para el desarrollo sectorial y regional".

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

Impreso y hecho en México. *Printed and made in Mexico.*

# Índice

Introducción	
<i>Mónica Casalet Ravenna</i> . . . . .	7

## Primera parte

### **Eje biotecnología, tecnologías de la información y la comunicación (TIC), nanotecnología**

I. Convergencia tecnológica y científica en torno al sector biotecnológico	
<i>Federico Stezano, Fernando Quezada</i> . . . . .	25
II. La confluencia de las políticas públicas para el desarrollo industrial en la era de la convergencia	
<i>Sergio Carrera Riva Palacio</i> . . . . .	53
III. La transferencia tecnológica de servicios intensivos en conocimiento para la producción	
<i>Edgar Buenrostro Mercado</i> . . . . .	83
IV. Análisis de grupos de investigación de biotecnología, nanotecnología y TIC en Argentina: algunos elementos para discutir el desempeño académico y la transferencia al sector privado	
<i>Florencia Barletta, Mariano Pereira, Sergio Rodríguez, Gabriel Yogue</i> . .	105

## Segunda parte

### **Convergencia en el campo de aplicación de fabricación avanzada: el sector aeroespacial**

V. Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial	
<i>Mónica Casalet Ravenna</i> . . . . .	125

VI. Innovación, complejidad productiva y oportunidades de convergencia: el caso de la industria aeronáutica <i>Juana Hernández Chavarria</i> . . . . .	151
VII. Convergencia tecnológica en las maquiladoras de México: un caso paradigmático <i>Jorge Carrillo, Ismael Plascencia</i> . . . . .	187
VIII. Cooperación para la innovación: el papel de las instituciones en la industria aeroespacial en Montreal <i>Christian Lévesque, Blandine Émilien, Lucie Morissette, Laurence Solar-Pelletier</i> . . . . .	207
IX. Una mirada a la industria aeroespacial en Italia y a los procesos de convergencia del conocimiento en este sector <i>Prudenzio Mochi Alemán, Cristina Girardo</i> . . . . .	231

Tercera parte  
**Epistemología de la tecnología**

X. Epistemología de la tecnología <i>Nydia Lara Zavala</i> . . . . .	255
---	-----

## Introducción

*Mónica Casalet Ravenna\**

### **Por qué organizar un libro sobre convergencia del conocimiento y tecnologías, una problemática casi desconocida en México**

Este libro responde a la necesidad de abrir un espacio de discusión y análisis sobre una perspectiva que ha generado expectativas importantes en la orientación de las políticas de innovación en múltiples países desarrollados —principalmente los Estados Unidos de América, Alemania, Corea del Sur, Japón y China— y una casi inexistente presencia en la agenda de los países latinoamericanos más desarrollados. El enfoque de la convergencia de conocimiento y tecnología para beneficio de la sociedad (CKTS, por sus siglas en inglés) repercute en la orientación de las decisiones sobre políticas públicas de los países desarrollados y en el impulso de los trabajos multidisciplinarios emprendidos por los investigadores para profundizar en las tendencias y dimensiones de esta problemática (estandarización, patentes, fondos de investigación, enfoques multidisciplinarios en los equipos de investigación y con los sectores productivos protagonistas del cambio). La preocupación por generar trabajos colaborativos y multidisciplinarios (determinantes en el enfoque de la CKTS) se refleja también en las estrategias empresariales de los sectores como biotecnología, nanotecnología, tecnologías de la información y manufactura avanzada o digitalizadas, protagonistas

---

\* Doctora en Sociología del Desarrollo por la Universidad de Ginebra, Suiza. Profesora investigadora de la Flasco México y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel III.

claves del nuevo paradigma. El uso de tecnologías convergentes provee oportunidades para desarrollar nuevas herramientas, algunas en ciernes, pero de amplio impacto en el futuro. Tales avances surgen con la transversalidad de las ciencias de la computación en múltiples campos de aplicación: entre los que destaca la genómica y las guías genéticas diseñadas en laboratorio como el CRISP que es una nueva técnica para modificar el genoma humano, con fines múltiples: desde corregir genes en enfermedades hereditarias, hasta erradicar la enfermedad genética en su línea germinal. Otros ejemplos de convergencia se reflejan en la evolución de la microelectrónica y la nanofabricación, que han logrado un desarrollo de sensores y dispositivos para aplicaciones biomédicas (Hall *et al.*, 2010). Los sensores avanzados, medidas y procesos de control (incluyendo Cyber-Physical Systems —CPS—) tienen aplicabilidad en varias industrias: permiten mejorar la negociación de un extremo al otro de la cadena de producción (reduciendo costos gracias a la capacidad de penetración de sensores en plantas y sistemas lógicos, controles automáticos y coordinación de sistemas). Los nuevos sistemas industriales: internet industrial e industria 4.0, sintetizan esta nueva revolución basada en los sistemas ciberfísicos.

La manufactura refleja también la acelerada inversión en la búsqueda de nuevos proyectos; la manufactura aditiva o las fábricas de escritorio, denominación utilizada por Chris Anderson en 2012, constituye un área que revoluciona las máquinas y el software. La impresora 3D juega un papel similar al de una impresora de documentos, pero puede crear objetos tridimensionales. El Airbus A350 tiene múltiples piezas que han sido impresas con esta tecnología, igual que en la industria automotriz (OECD, 2016). Los nanomateriales juegan un papel determinante para aplicaciones que van desde alta eficiencia de las células solares y baterías, control ambiental con nanofiltros, o nanosistemas para aplicaciones médicas, electrónicas y dispositivos computacionales. El automóvil eléctrico es un ejemplo, pues las nuevas baterías permiten aumentar la autonomía de estos vehículos. La visualización, como la analítica, de información centrada en las representaciones visuales de los datos y los mecanismos necesarios de interacción es una vertiente interdisciplinaria que va más allá del enfoque tradicional (visualización científica y de información) para incluir principios y métodos de las estadísticas, matemáticas, ciencias cognitivas (Toledo Nolasco, 2016), y

crear un contexto que facilite la comprensión de datos masivos, dinámicos y con frecuencia conflictivos.

Los programas públicos iniciados para orientar la investigación y el desarrollo, como los fondos de investigación concedidos por organizaciones especializadas en ciencia, tecnología e innovación (CTI) a nivel internacional (National Science Foundation —NSF—, National Aeronautics and Space Administration —NASA—, programas marco y Horizonte 2020 de la UE) acompañan el interés actual en la emergencia de redes e intercambios cuyos efectos se reflejan en la generación de nuevos nichos productivos como consecuencia de la densidad de conexiones interdisciplinarias, la creación de plataformas digitales de enlace, los cambios en la gestión y los mercados que modifican la forma de trabajo y de relación intra e interdisciplinas, y la vinculación con los sectores productivos. La creación de conocimientos combinado con la apropiación evoluciona desde un funcionamiento separado por disciplinas, hacia un trabajo colaborativo sostenido en plataformas y artefactos digitales.

La importancia de un enfoque convergente adquiere significación por los cambios tecnológicos ocurridos en la transformación industrial, organizativa y de negocios. La transversalidad de la digitalización introduce grandes cambios y recomposiciones que impactan a diferentes industrias, generando nuevas complementariedades, productos y mercados. El inicio de esta transformación surge en el desarrollo de la biotecnología, la nanotecnología, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas que abren nuevas complejidades para abordar los problemas de la salud, el medio ambiente, la seguridad con cambios sustanciales a nivel del empleo y las calificaciones.

En este sentido, la noción de convergencia supone un metaparadigma que se basa en la combinación de los paradigmas existentes a través de nuevos campos, constituye una reconceptualización que trasciende a los paradigmas maduros (MacGregor *et al.*, 2013). El nuevo paradigma basado en la convergencia del conocimiento y las tecnologías diluye los límites entre las industrias, contribuye a la resolución de los desafíos complejos de la producción y crea nuevos nichos de especialización, generando otras formas de gestión y modelos de negocios. Este proceso se intensificó por el avance de la globalización y los cambios provocados por la utilización de la ciencia en la producción (Casalet, 2015). La convergencia del conocimiento y las tecnologías incluye las áreas relevantes

de la sociedad aunando la participación humana y las capacidades de las máquinas para resolver problemas que aisladamente no se podrían solucionar, y estas a su vez crean nuevas capacidades, tecnologías y productos para el beneficio de la sociedad (Lundstrom y Wong, 2013).

El trabajo multidisciplinario es un elemento clave de la convergencia y un desafío para resolver que concierne tanto a la gestión institucional como a la orientación de los fondos públicos para la investigación dirigidos a estimular los avances de las redes heterogéneas, como explorar nuevas formas de evaluación de los resultados obtenidos en la conformación de equipos multidisciplinarios, integrados por investigadores y empresas interesadas en apropiarse de las innovaciones. La aplicabilidad de la multidisciplinariedad de la convergencia va creciendo; de acuerdo con Lundstrom y Wong (2013), la evolución irá más allá de esta para lograr la transdisciplinariedad. En la primera modalidad, la investigación adopta herramientas y técnicas de muchas disciplinas para dar respuestas innovativas; en tanto que la transdisciplinariedad, sostén de la convergencia, supone trascender las disciplinas con interacciones que transformen su evolución individual, para dar lugar a nuevos campos de trabajo generados en la hibridación de las fronteras disciplinarias.

La importancia del enfoque de la convergencia radica en las nuevas oportunidades de sinergia entre ciencias teóricas y aplicadas con vocación de responder a los problemas de una sociedad cada vez más compleja y con tensiones crecientes. Una tendencia es desarrollar conexiones entre propiedades de materiales que antes eran inalcanzables y ahora pueden ser diseñadas y desarrolladas. La transversalidad de la informática y la aplicación creciente en todos los sectores industriales y de servicios diluye los límites entre industrias y contribuye a la resolución de desafíos complejos de la sociedad.

La importancia de la convergencia se expande en los estudios de múltiples investigadores de diferentes países, que han explorado diversos factores y dimensiones (tecnológicas, institucionales, estructurales, de evaluación, financiamiento, patentes). Aunque hay consenso en el impacto que significa la importancia del enfoque para la innovación, la producción y generación de nuevos nichos industriales, los estudios explicativos de estos cambios son incipientes, dada su reciente difusión. Las iniciativas estratégicas apoyadas por los gobiernos de los Estados Unidos de América, Alemania, Corea del Sur, entre otros, estimulan la investi-

gación y el desarrollo (Jeong y Lee, 2015; Acatech, 2011; OECD, 2016; McKinsey Global Institute, 2012), las vinculaciones de la estructura institucional, especialmente la participación de las ciencias sociales para elaborar diagnósticos de múltiples problemas que incluyen las estrategias teóricas para maximizar beneficios y minimizar costos, la modelización para representar las formas de intercambio, estructura de incentivos, estudios de *foresight* (Nordman, 2004) y el crecimiento de patentes que analicen la convergencia (Jeong *et al.*, 2015; Karvonen y Kässi, 2013; Gauch y Blind, 2015). Tales dimensiones orientan el crecimiento dominante en el futuro, con combinaciones de mayor complejidad entre tecnologías y actores.

### **Por qué abrir una reflexión de esta problemática en México**

En México, a pesar de las dificultades y las fragmentaciones en los enlaces y los programas de estímulos a la investigación y el desarrollo de la CTI, se ha avanzado en múltiples iniciativas para consolidar los sectores receptores de nuevas tecnologías. Los clústeres y parques tecnológicos generados en múltiples estados señalan estos avances, pues constituyen instancias organizativas de coordinación e intercambio de información tecnológica y productiva, que generan sinergias públicas-privadas y multisectoriales. La especialización de estas modalidades organizativas, localizadas en diferentes estados del país, depende de la historia productiva y la capacidad de absorción de conocimientos alcanzada en el desarrollo de trayectorias innovativas muchas veces fragmentadas de sectores y regiones. Pero a pesar de los vacíos de orientación estratégica y de la incertidumbre económica y regulatoria, se lograron construir redes en la producción y con los proveedores, especialmente en los sectores automotriz, aeronáutico, electrónico, dispositivos médicos y consolidar nuevas plataformas de comunicación para sostener estos desarrollos con financiamiento público dirigido a las empresas, y con los centros e institutos tecnológicos involucrados que conforman espacios de colaboración donde se concentran datos y se añaden nuevos servicios.

Por otra parte, en los recientes programas auspiciados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) destaca el estímulo para organizar redes temáticas de enlace entre investigadores, empresas,

clústeres y organizaciones públicas y privadas para desarrollar la participación multidisciplinaria en la reflexión de los problemas nacionales que constituyen los grandes desafíos para integrar un conocimiento cada vez más complejo, que atienda las exigencias de competitividad productiva y la investigación multidisciplinaria. Otras iniciativas surgidas en el ámbito del Conacyt complementan la importancia del trabajo en colaboración y multidisciplinario, como las convocatorias sobre estudios de frontera del conocimiento, las agendas estatales de innovación y la creación de consorcios bilaterales (NSF-Estados Unidos de América/México en áreas de frontera), los cuales pueden constituir núcleos de investigación de vanguardia para ir más allá en la reflexión y aplicabilidad de los nuevos paradigmas del conocimiento e incursionar en ámbitos donde las investigaciones realizadas tengan una repercusión a nivel productivo y en la propia comunidad científica.

Por ello, este libro surge como una respuesta para ampliar las vías en la colaboración multidisciplinaria y multisectorial; el propósito es construir un lenguaje común de comunicación y acuerdos entre ciencias sociales, ingenieros, químicos, biólogos, nanotecnólogos e informáticos, trascendiendo la visión estrecha de la disciplina de pertenencia para abordar la innovación desde una perspectiva convergente, desarrollando nuevos modelos adecuados para la diversidad de insumos, resultados y riesgos de la aplicación.

La sistematización expuesta en este libro presenta un problema teórico que surge a nivel internacional para dar cuenta de las transformaciones de la innovación, producto de las disrupciones provocadas en varios campos del conocimiento como la biotecnología, las tecnologías de la información y la fabricación avanzada o digitalizada. El esfuerzo de esta sistematización radica en exponer el problema e ilustrar sobre las dimensiones de la convergencia en diferentes campos de aplicación: algunos desarrollados con mayor solidez, producto de la cercanía con el desarrollo de las investigaciones internacionales en el campo de aplicación seleccionado; otros buscan incursionar en dimensiones que abren una reinterpretación de la convergencia del conocimiento y las tecnologías en temáticas abordadas en sus líneas de investigaciones.

El libro no busca mostrar un panorama de los enfoques que circulan a nivel internacional: estos se analizan en la acción de los campos del conocimiento (biotecnología, TIC, manufactura avanzada), el interés tam-

poco es ceñirse a una metodología que aún está en elaboración a nivel internacional. El análisis se centra en presentar un estudio exploratorio, para revelar los avances en los diferentes campos de aplicación, donde la conceptualización y la metodología son incipientes. A pesar de los vacíos existentes, el intento radica en presentar una discusión nueva sobre una problemática que dominará el futuro y cuyos impactos no solo atañen a los sectores productivos, sino que suponen cambios en las modalidades de investigación, de formación de nuevos profesionales con visión multidisciplinaria y un dominio importante de la digitalización que transversalmente incide en la sociedad, la economía y la producción, cuyo desarrollo implicará, como todas las transformaciones disruptivas, riesgos en el empleo y exclusiones sociales.

La ingeniería genética y la inteligencia artificial pueden ser utilizadas para crear tipos de sociedades muy diferentes; como dice Noah Harari, habrá que discutir qué sociedad queremos. El potencial de la tecnología es increíble, el reto es cómo usarla. En esta discusión, las ciencias sociales pueden contribuir a entender las ventajas y los riesgos y delimitar las responsabilidades de los diferentes agentes frente a la necesidad de tomar decisiones y advertir los peligros.

El propósito es contribuir a proporcionar documentación y reflexión conceptual para atender la revolución de la producción que hoy parece distante, pero que ya es una realidad en muchos países y poco a poco se implantará en las cadenas de proveeduría local articuladas a cadenas de valor internacionales. De ahí la importancia de presentar una visión de mediano y largo plazo, necesaria para lograr efectos en las políticas industriales y de innovación, fundamentalmente en los protagonistas de este paradigma, la comunidad científica y los sectores productivos.

Los investigadores que colaboran en este libro comparten una trayectoria de trabajo similar basada en proyectos sobre innovación, sectores productivos y estructura institucional. Por otro lado, la mayoría ha participado en la creación y desarrollo de la Red Temática del Conacyt denominada “Convergencia del conocimiento y la tecnología para beneficio de la sociedad”, que constituye el primer intento en el país por abordar esta problemática y sus efectos en las áreas de aplicación (nanotecnología, biotecnología, TIC y manufactura digital o avanzada). A su vez, varios investigadores participantes en este libro colaboraron en *La industria aeroespacial: complejidad productiva e institucional* (Casalet, 2013), que

surgió de la investigación desarrollada en el Proyecto de Ciencia Básica Conacyt 166856, “Acuerdos de colaboración para la vinculación: Diferentes estrategias productivas y de vinculación para el desarrollo sectorial y regional”.

## **Aspectos centrales sobre el enfoque de convergencia expuesto en los diferentes capítulos**

En las decisiones adoptadas para exponer la perspectiva de la convergencia, una preocupación central fue presentar la problemática en los ejes articuladores, para atender las diferentes dimensiones. En la primera parte se concentran los análisis y las dimensiones del eje biotecnología, TIC, nanotecnología, en tanto que en la segunda parte expone las diferentes dimensiones referentes a la manufactura o fabricación avanzada. En ambos ejes se buscó mostrar los avances sectoriales a nivel internacional y nacional, enfatizando las estrategias asumidas en las políticas públicas y empresariales, para identificar cómo se manifiesta la convergencia en los sectores estudiados (biotecnología, TIC, nanotecnología y manufactura avanzada), qué interconexiones son frecuentes y con quién. En síntesis, hay un interés explícito en incrementar enfoques, metodologías y valoraciones para reunir documentación que contribuya a la reflexión de los grupos de investigación sobre estos temas, con el fin de avanzar en la investigación y el intercambio formal e informal con los sectores productivos. La tercera parte plantea una discusión filosófica de los efectos tecnológicos y su articulación con la ciencia.

En el primer capítulo “Convergencia científica y tecnológica en torno al sector biotecnológico”, los doctores Federico Stezano y Fernando Quezada analizan la convergencia científica y tecnológica referida a varias aplicaciones de la biotecnología, donde se reflexiona sobre el alcance real de los procesos y la multiplicidad de fuerzas y factores que están detrás de este proceso. La biotecnología no constituye un sector o industria en sí, sino que comprende un conjunto de tecnologías y herramientas de investigación transversales respaldadas en la ciencia con aplicaciones en diversos sectores. En ese capítulo se destacan los alcances de los procesos de convergencia científica y tecnológica en torno a la biotecnología estudiando un contexto más amplio de relación y distinción entre ciencia y

tecnología. El concepto de convergencia y su evolución se enmarca en la colaboración y la interdisciplinariedad donde el desarrollo del lenguaje es clave, ya que los cambios cognitivos inciden en la evolución de la biotecnología tradicional a la biotecnología moderna. La biotecnología moderna surge como un sector con una fuerte interrelación entre ciencia y tecnología, en la reflexión se identifican *i*) el surgimiento de nuevos esquemas y prácticas científicas, y *ii*) el carácter trans o interdisciplinario de los paradigmas. En el caso de la biotecnología se analizan los cambios en la base de conocimientos generados por las revoluciones del ADN y la genética molecular, el advenimiento de biología molecular y los avances significativos en la fisiología, la farmacología, la enzimología y la biología molecular, señalando las transformaciones en el modelo de negocios, con un estrecho vínculo entre campos científicos y tecnológicos y un modelo dual de empresas.

El capítulo dos, “La confluencia de las políticas públicas para el desarrollo industrial en la era de la convergencia”, presentado por el doctor Sergio Carrera Riva Palacio, analiza las estrategias adoptadas en varios países (Corea del Sur, China, la India, Irlanda y los Estados Unidos de América) para estimular a las industrias convergentes especialmente dirigidas a la formación de profesionales con habilidades específicas en TIC: *i*) la preparación de equipos de investigación y científicos de calidad mundial, y *ii*) fomento de las pequeñas y medianas empresas (pymes) vinculadas a cadenas de valor. De estas estrategias, se destaca la necesidad de alinear los diferentes vectores que representan las políticas fiscales, de desarrollo industrial, de ciencia y tecnología, de comercio exterior, educativa y compras gubernamentales; aspectos de los cuales México, a pesar de las iniciativas emprendidas por el Conacyt y la Secretaría de Economía, no compone aún una política general macro y micro que fomente el desarrollo de capacidades para enfrentar los nuevos desafíos. Las estrategias manifiestan debilidades sin una perspectiva definida que indique de qué manera acelerar procesos y cómo generar sinergias entre diferentes políticas públicas para impulsar nuevos productos, procesos y servicios. Hay que ir más allá de la apertura de mercados y favorecer el flujo de las corrientes de inversión; lo relevante para el autor es que los instrumentos deben alinearse en torno a la solución de retos nacionales.

En el tercer capítulo “La transferencia tecnológica de servicios intensivos en conocimiento para la producción”, el doctor Edgar Buenrostro

señala los esfuerzos realizados en el país para impulsar los procesos de transferencia tecnológica a través de diferentes instrumentos como los parques científicos y tecnológicos, la formación de clústeres, la creación de organismos intermedios y el establecimiento de oficinas de transferencia tecnológica dentro de las instituciones de educación superior y los centros públicos de investigación. El autor analiza cómo los servicios se han convertido en el motor del crecimiento, el empleo y el aumento de la productividad en los nuevos modelos industriales. La combinación inteligente de tecnología y el replanteamiento de las estrategias de mercado y la capacidad de visión estratégica de negocios cobran un papel protagónico, en la medida en que una pregunta clave es cómo aportar valor a los usuarios. La incorporación de los servicios a los productos o actividades industriales, conocida como “servitización”, es uno de los puntos clave del nuevo proceso de digitalización de la producción. El capítulo identifica los mecanismos y modalidades que surgen de los acuerdos de colaboración entre los agentes públicos y privados para la transferencia tecnológica que se presentan en el software libre, como un sector de servicios intensivos en conocimiento y transversal a la economía, a través de la participación en proyectos multidisciplinarios. El estudio de dos instituciones académicas, una localizada en Zacatecas y la otra en la Ciudad de México, muestra los procesos de articulación entre la industria, el sector público y la academia para responder a las necesidades de nuevos productos y servicios cada vez más complejos que requieren de mayores capacidades para su desarrollo.

De acuerdo con la naturaleza de los servicios, se pueden generar procesos de articulación entre actores provenientes de diversos sectores económicos para obtener innovaciones que redunden en una ventaja competitiva. De ahí que las instituciones académicas deban contar con la capacidad de articular diversos tipos de conocimiento, provenientes de diferentes disciplinas, para integrarlos en un producto comercializable.

El capítulo cuarto, “Análisis de grupos de investigación de biotecnología, nanotecnología y TIC en Argentina: algunos elementos para discutir el desempeño académico y la transferencia al sector privado”, realizado por Florencia Barletta, Mariano Pereira, Sergio Rodríguez y Gabriel Yoguél, de carácter exploratorio y cuantitativo, analiza la relación existente entre productividad científica y actividades de transferencia que realizan los grupos de investigación que trabajan en las áreas del paradigma con-

vergente (biotecnología, nanotecnología, TIC) de diferentes instituciones académicas de ese país. Los autores parten de una hipótesis sobre la existencia de una lógica conflictiva entre los objetivos de excelencia académica y transferencia de conocimientos, que se refleja en las características diferenciales de los grupos de investigación. Consecuentemente, sus preguntas se refieren a *i)* si es posible identificar algún tipo de asociación entre productividad académica de los grupos y la transferencia que realizan; *ii)* si los grupos de mayor productividad son los que tienen mayor intensidad de vinculación con el sector productivo; *iii)* si es posible identificar factores de convergencia entre las tres tecnologías cuando el funcionamiento de los sistemas de innovación de países en desarrollo está fuertemente fragmentado y la presencia de interacciones entre sus componentes es débil. Para ello utilizan una base de datos compuesta por 581 grupos de investigación pertenecientes a instituciones públicas abocadas a esta actividad, que cubre una elevada proporción del universo de estos grupos en las disciplinas referidas. Por otra parte, esa base de datos permite capturar el carácter colectivo del proceso de generación y transferencia de conocimiento, dado que la unidad de análisis es el grupo, no el investigador individual. Se hace referencia al desempeño académico de los grupos, estimado a partir del nivel de productividad, factor de impacto y cantidad de citas de las publicaciones entre 1997 y 2012. Se analiza el grado de asociación entre el nivel de productividad académica y las vinculaciones que tienen los grupos en otras universidades, centros de investigación y, fundamentalmente, empresas. Este estudio tiene gran interés para los objetivos del libro, dado que constituye una vía para profundizar en futuras investigaciones y representa una posibilidad de sistematizar información recurriendo a la estadística descriptiva, el análisis de clústeres y estimaciones econométricas para medir el grado de interrelación tanto entre disciplinas como dentro de cada una de ellas.

El quinto capítulo, “Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial”, presentado por la doctora Mónica Casalet, expone los aspectos centrales de la nueva problemática, donde las redes creadas construyen un proceso de convergencia, es decir, la aplicación del conocimiento y tecnología proveniente de diferentes ámbitos cuya interrelación genera nuevos conocimientos, procesos, productos y servicios innovadores sostenidos por sistemas informáticos que hacen efectiva la interoperabilidad organizativa. Las decisiones estratégicas adoptadas en múltiples

países desarrollados, conjuntamente con las iniciativas de organizaciones especializadas en CTI y empresas con alta inversión en investigación y desarrollo, se unen para el diseño de programas y proyectos de investigación orientados a la mejora de la estructura industrial. La transversalidad de la digitalización conduce los cambios y recomposiciones que impactan diferentes industrias. Aunque en este caso el análisis profundiza los efectos de la colaboración multidisciplinaria en el sector aeroespacial. El concepto de ingeniería colaborativa representa la construcción de un entorno de diseño espacial, donde el equipo de trabajo multidisciplinario se convierte en una estructura interactiva gracias a la digitalización de la producción y la interoperabilidad de las plataformas que facilitan la precisión y comunicación con agentes distantes geográficamente.

El sexto capítulo, “Innovación, complejidad productiva y oportunidades de convergencia: el caso de la industria aeronáutica”, de la doctora Juana Hernández Chavarría, analiza la influencia de las fuentes internas y externas de innovación en la industria aeronáutica, con el propósito de determinar el nivel de complementariedad y cómo inciden en el desarrollo de capacidades de producción de las empresas. En el trabajo surge la relación de complementariedad entre innovación interna y externa, aunque la investigación y desarrollo proviene del exterior. Las fuentes externas contribuyen al acceso de información clave para la innovación, en tanto que las internas, vía transferencia de conocimientos, contribuyen a la creación de aprendizajes y capacidades endógenas que se traducen en mejores niveles de calidad y seguridad. Las estrategias de convergencia tecnológica se manifiestan en la creación de plataformas de colaboración entre clientes y proveedores, y en acciones de fomento productivo y de estímulo a la transferencia de conocimientos auspiciada por el gobierno nacional y el estatal.

El capítulo séptimo, “Convergencia tecnológica en las maquiladoras de Mexico: un caso paradigmático”, realizado por los doctores Jorge Carrillo e Ismael Plascencia, plantea una estrategia empresarial exitosa que puede profundizar nuevos intercambios de relaciones binacionales, combinar plataformas tecnológicas y desarrollar nuevas competencias. Los autores sostienen que el estereotipo de la maquiladora se ha extendido como una representación de empresas intensivas en trabajo no calificado y mal remunerado, con bajo nivel tecnológico y desvinculado de la economía. Esta generalidad niega la especificidad de estrategias empre-

sariales y tecnológicas que han logrado evolucionar tecnológica y organizativamente desde el trabajo manual al diseño y la investigación. El caso paradigmático es Delphi-Tijuana, líder de electrónica y tecnologías de automoción, vehículos comerciales, dispositivos médicos, entre otros. La empresa Delphi-Tijuana ha creado un programa de desarrollo de talentos para especialización de ingenieros en diseño que constituye un ejemplo empresarial de éxito en la combinación de tecnologías. Los autores plantean que constituye una empresa incubadora donde convergen proyectos, productos y servicios basados en la innovación y la capacitación de nuevos talentos locales, situación que permitió a la empresa patentar componentes electrónicos para diversos sectores recurriendo a la innovación producida por ingeniería local.

En el octavo capítulo “Cooperación para la innovación: el papel de las instituciones en la industria aeroespacial en Montreal”, Christian Lévesque, Blandine Émilien, Lucie Morissette y Laurence Solar-Pelletier analizan el nivel de gobernanza necesario para el funcionamiento de la producción con una perspectiva convergente. La coordinación de estrategias entre las instituciones que integran el clúster en Montreal posibilita la innovación, la determinación de nuevas alternativas de futuro, la previsión de obstáculos y la generación de nuevas competencias en la producción y en la formación de profesionales noveles. La interacción efectiva y continuada a nivel interinstitucional entre empresas productoras, proveedores, organizaciones intermedias vinculadas con la investigación y el desarrollo y la formación profesional conforman un modelo de colaboración que permite pensar en abordar estrategias con una visión integral, multidisciplinaria y colaborativa para el desarrollo del clúster de Montreal donde participan activamente actores públicos y privados.

En el capítulo nueve “Una mirada a la industria aeroespacial en Italia y a los procesos de convergencia del conocimiento en este sector”, los doctores Prudenzió Mochi y Cristina Girardo identifican los puntos de fuerza del sector aeroespacial en Italia tanto a nivel industrial como académico, donde se destaca la importancia de los grupos de investigación y el establecimiento de redes fluidas entre el sector productivo, la academia y el territorio. El estudio de caso del centro público de investigación Dimeas del Politécnico de la ciudad de Turín, financiado con recursos públicos y europeos (Agencia Espacial Europea), constituye un ejemplo de aplicabilidad de una visión convergente donde, a través del modelado

y simulación de comportamientos de estructuras, de campos de dinámicas de fluidos, de dispositivos y sistemas, se definen procesos de trabajo innovadores para pruebas experimentales, conducción, comparación y predicción. La competencia científica y tecnológica del Dimeas radica en la trayectoria desarrollada por los grupos de investigación multidisciplinares con un fuerte anclaje territorial y sólidas vinculaciones europeas.

El último capítulo, “Epistemología de la tecnología”, presentado por la doctora Nydia Lara Zavala, plantea un aspecto determinante para discutir la problemática de la convergencia, que es el papel activo de la tecnología en la formulación de las teorías científicas. Este análisis es significativo para comprender cómo esta interactúa con la ciencia y, fundamentalmente, la manera de fomentar su desarrollo socioeconómico en la complejidad actual. En especial cuando sistemáticamente se ha tendido a ignorar o minimizar su importancia para la obtención del conocimiento científico. Una concepción errada en torno al papel que juega en la ciencia puede tener repercusiones negativas en el desarrollo del país. Su valor cognitivo en esta relación se ha desdibujado, en la medida en que la tecnología se considera un producto derivado del conocimiento científico, valoración que afecta la comprensión de lo que es el conocimiento científico y su forma de obtenerlo e incide en la orientación de las políticas científico-tecnológicas que sostienen el financiamiento.

En ese trabajo la autora muestra, a través de dos ejemplos históricos, cómo se debe entender el papel que desempeña la tecnología en la obtención del conocimiento científico. Introduce la idea de que hay arreglos tecnológicos capaces de producir fenómenos no naturales que tienen la peculiaridad de ser, observables, altamente predecibles y reiteradamente reproducibles. A estos fenómenos los denomina “efectos tecnológicos”, los cuales sirven como base y motor para el desarrollo de muchas de las innovaciones actuales en este campo.

## Referencias

Acatech (National Academy of Science and Engineering) (2011). “Cyber-Physical Systems. Driving Force for Innovation in Mobility, Health, Energy and Production”, *Acatech Position Paper*, diciembre.

- Anderson, Chris M. (2012). *The New Industrial Revolution*, Estados Unidos de América, Crow Business.
- Casalet Ravenna, Mónica (2015). “El mito de Sísifo. Avances y nuevos desafíos en la apropiación de los paradigmas tecnológicos”, en María Josefa Santos y Rodrigo Díaz Cruz (coords.), *Innovación tecnológica y procesos culturales*, México, FCE.
- Casalet Ravenna, Mónica (2013). *La industria aeroespacial: Complejidad productiva e institucional*, México, Flacso México.
- Gauch, Stephan y Knut Blind (2015). “Technological Convergence and the Absorptive Capacity of Standardization”, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 91, pp. 236-249.
- Hall, Drew A. et al. (2010). “GMR Biosensor Arrays: a System Perspective”, *Biosensors: Bioelectron*, vol. 25, pp. 2051-2057.
- Jeong, Seongkyoon, Jong-Chan Kim y Jae Young Choi (2015). “Technology Convergence: What Developmental Stage Are We In?”, *Scientometrics*, vol. 104, núm. 3, pp. 841-871.
- Jeong, Seongkyoon y Sungki Lee (2015). “What Drives Technology Convergence? Exploring the Influence of Technological and Resource Allocation Contexts”, *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 36, pp. 78-96.
- Karvonen, Matti y Tuomo Kässi (2013). “Patent Citations as a Tool for Analysing the Early Stages of Convergence”, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 80, pp. 1094-1107.
- Lundstrom, Mark y H.-S. Philip Wong (2013). “Convergence Platforms: Foundational Science and Technology Tools”, en *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info Cognitive Technologies*, Estados Unidos de América, National Science Foundation, pp. 1-52.
- MacGregor, Donald, Marietta Baba, Aude Oliva, Anne Collins McLaughlin, Walt Scacchi, Brian Scassellati, Philip Rubin, Robert M. Mason y James R. Spohrer (2013). “Convergence Platforms: Human-Scale Convergence and the Quality of Life”, en *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info Cognitive Technologies*, Estados Unidos de América, National Science Foundation, pp. 72-102.
- McKinsey Global Institute (2012). “Manufacturing the Future: The Next Era of Global Growth and Innovation”, en OEDC. Disponible en <<http://>

- [www.oecd.org/dev/Manufacturing-the-future-the-next-era-of-global-growth-and-innovation.pdf](http://www.oecd.org/dev/Manufacturing-the-future-the-next-era-of-global-growth-and-innovation.pdf) >, consultado el 12 de marzo de 2016.
- Nordmann, Alfred (2004). "Converging Technologies: Shaping the Future of European Societies", *Office for Official Publications of the European Communities*, EUR 21357.
- OECD (2016). "Enabling the Next Production Revolution: The Future of Manufacturing and Services", en Report prepared for the G20 New Industrial Revolution Task Force. Disponible en <<https://www.oecd.org/mcm/documents/Enabling-the-next-production-revolution-the-future-of-manufacturing-and-services-interim-report.pdf>>, consultado el 8 de noviembre de 2016.
- Toledo Nolasco, Alejandro (2016). "Sistemas de Recomendación y Visualización Analítica", *Newsletter XXV Aniversario: La convergencia de tecnologías y el Big Data*, Lania, año 17, vol. 61, p. 2.

Primera parte

**Eje biotecnología, tecnologías de la información  
y la comunicación (TIC), nanotecnología**



# I. Convergencia tecnológica y científica en torno al sector biotecnológico

*Federico Stezano,\* Fernando Quezada\*\**

## Introducción

El presente capítulo examina el tema de la convergencia entre y a lo largo de las disciplinas científicas y de ingeniería seleccionadas como pertinentes para sectores tecnológicos actualmente emergentes. Varias aplicaciones relacionadas con la biotecnología se presentan como ejemplos de las tendencias de correlación actuales. Es uno de los principales objetivos examinar aquí la multiplicidad de fuerzas y factores detrás de este proceso y discutir diversas implicaciones para la formulación de políticas públicas y la planificación curricular en las instituciones educativas. Aunque las muestras de confluencia sobre campos científicos y tecnológicos específicos se derivan mayoritariamente de tendencias presentadas en los Estados Unidos de América y en contextos europeos, las implicaciones y recomendaciones para los gobiernos y las universidades están dirigidas principalmente a México y a otros países de América Latina.

A continuación se procede a dar un breve repaso a la literatura académica y profesional actual sobre el tema de la convergencia. Los artículos académicos seleccionados se ocupan de las tendencias generales y proporcionan antecedentes relevantes en este marco. Cómo confluyen entre

---

\* Doctor en Sociología por Flacso México. Profesor investigador de tiempo completo del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional (CIECAS-IPN).

\*\* Maestro en Administración Pública por la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA), Director Ejecutivo del Biotechnology Center of Excellence Corporation (BCEC), Waltham, Massachusetts.

y dentro de áreas específicas la biotecnología, la nanotecnología, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas se discute aquí como ejemplos actuales de enriquecimiento de paradigmas y combinación de aplicaciones tecnológicas combinadas. Con la finalidad de ilustrar aún más los alcances de estos procesos, se han seleccionado tres perfiles de entidades comerciales e institucionales que se consideran ejemplos concretos de convergencia.

La discusión general desarrollada se sitúa así en la temática de investigación de la convergencia tecnológica y científica en torno al sector biotecnológico. El objetivo del capítulo es discutir la forma en que se presentan los procesos de convergencia científica y tecnológica dentro de este sector. Estos pueden observarse tanto en términos de la emergencia de nuevos paradigmas científicos o tecnológicos, como respecto al desarrollo de investigaciones con rasgos interdisciplinarios.

El concepto de convergencia alude a relaciones, sinergias o fusiones entre amplios campos de la investigación científica y el desarrollo tecnológico (I+D), en campos como nanociencia y nanotecnología, biotecnología y ciencias de la vida, tecnologías de la información y la comunicación, ciencias cognitivas y neurotecnologías, robótica e inteligencia artificial, entre otros (Andler *et al.*, 2008). En este marco, emerge una amplia diversidad de implicaciones asociadas a fomentar la dinamización de las relaciones entre diferentes campos de la I+D que aluden a distintas dimensiones de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI).

Una implicación central de la propuesta de convergencia ha estado ligada a la noción de la interdisciplinariedad, que da cuenta de dos tipos de convergencia: *i*) la convergencia científica (CC) como cooperación e intercambio de ideas de diferentes disciplinas científicas que trabajan en un tema común y *ii*) la convergencia tecnológica (CT), comprendida como el uso de los descubrimientos de diferentes disciplinas en aplicaciones y productos tecnológicos específicos.

En términos de CT, el concepto de convergencia implica un metaparadigma tecnológico: un nuevo paradigma nacido de la combinación de otros existentes de diversos campos, que conduce a una reconceptualización que trasciende a muchos de los paradigmas más maduros (MacGregor *et al.*, 2013).

En términos de CC, aunque las agendas de investigación van incorporando la noción de convergencia, la generación de nuevos paradigmas

científicos no aparece de manera explícita. El análisis de la CC asume que es central conocer el grado en que las tecnologías convergentes requieren o pueden beneficiarse de la CC y del alcance de la convergencia en términos del cambio en los modos en que se produce conocimiento científico.

Aun así es posible encontrar un proceso paulatino de CC resultado de la creciente necesidad de la investigación interdisciplinaria. Este imperativo deriva a su vez del incremento en el reconocimiento de la relevancia que adquieren los problemas sociales como motores del desarrollo tecnológico —*technological drivers*— (Andler *et al.*, 2008: 18).

A pesar de estos avances incipientes, la existencia de una base común en proyectos de investigación convergentes, como prerequisite para la integración relevante de disciplinas científicas, se debilita por la fragilidad de una noción de convergencia fundamentada en una comprensión imprecisa de la interdisciplinaria orientada a objetos, sin un paradigma teórico y metodológico que trascienda los diferentes campos de la investigación en CT (Schmidt, 2008).<sup>1</sup>

En este contexto, se plantea la discusión de ambas dimensiones (convergencia científica y convergencia tecnológica) en torno a la biotecnología con el fin de describir y analizar el grado de desarrollo de procesos de estos dos tipos en el sector. La primera sección muestra conceptos y categorías que han buscado delimitar las esferas entre ciencia y tecnología. La segunda contextualiza el campo temático y muestra los postulados centrales de las propuestas políticas de convergencia. La tercera discute los alcances y significados sobre el supuesto de convergencia de campos tecnológicos y disciplinas científicas. La cuarta analiza el grado de avance de procesos de convergencia en el sector biotecnológico, particularmente a la luz de desarrollos recientes en los campos de la biomedicina, nanofármacos y la genómica. En la quinta se presentan algunas de

---

<sup>1</sup> De forma similar, Schummer (2004) encuentra que la investigación actual en nanotecnología y nanociencias no revela patrones y grados de interdisciplinaria particulares y que su aparente multidisciplinaria se compone de diferentes campos en gran medida monodisciplinarios que no exceden a la simple participación de diferentes disciplinas. Por otra parte, puede encontrarse un grupo de impedimentos organizacionales e institucionales: en cuanto la institucionalización del campo de la ciencia sigue estando orientada en torno a disciplinas científicas establecidas, las prácticas interdisciplinarias chocan con los intentos de reproducción de las estructuras existentes (Andler *et al.*, 2008).

las implicaciones de los procesos de convergencia científica y tecnológica para el paradigma biotecnológico. La sexta sección resume los desafíos centrales en términos de ajustes normativos y de vinculación de actores de la innovación que destacan las discusiones precedentes sobre el tema en cuestión. El trabajo concluye presentando dos campos de aplicación biotecnológica donde, aunque no se presentan indicios respecto al surgimiento de un nuevo paradigma científico, se observan avances en términos de convergencia científica e investigación interdisciplinaria que surgen del establecimiento de dos problemas sociales centrales (salud y alimentación) y pueden entenderse como motores del desarrollo tecnológico contemporáneo.

## **Ciencia, tecnología y el concepto de convergencia**

Aquí se plantea la distinción entre ciencia y tecnología como referente en torno al cual problematizar el análisis de procesos de CC y CT. En este contexto, se presentan en primer lugar los criterios y ejes analíticos que han pautado la discusión en torno a las fronteras entre ciencia y tecnología.

El inicio de los debates sobre esta división ciencia-tecnología ocurre en la década de los ochenta del siglo xx. Según el modelo lineal ciencia-tecnología, la ciencia era siempre fuente de la innovación: al descubrimiento científico le seguía invariablemente la invención tecnológica, lo cual limitaba a la tecnología a una mera actividad monótona de aplicación de la ciencia (Brooks, 1994).

Nuevas interpretaciones comienzan a discutir la existencia de un patrón de alto acoplamiento entre ciencia y tecnología. Igualmente, los avances de la teoría económica evolutiva han mostrado que la articulación es mayor en las primeras etapas de avance de un campo tecnológico: el crecimiento y la innovación industrial en sus desarrollos tempranos tienden a ser orientados por el conocimiento y la ciencia. Estas nuevas visiones postularon dos nuevas proposiciones analíticas clave: *i*) la relación ciencia-tecnología es fuertemente interactiva entre dos actividades semiautónomas que confluyen en un área predominantemente instrumental y *ii*) la ciencia y la tecnología están estrechamente relacionadas y tienen fronteras difusas en algunos campos nuevos y en momentos de grandes cambios (Faulkner, 1994).

En todas las distinciones realizadas, la comprensión de ciencia y tecnología se reduce a matices de significado. En última instancia, las diferencias en términos de cuerpos de conocimiento, actividades, metas y motivaciones de esas actividades, instituciones sociales y profesionales son escasas e históricamente situadas (Mayr, 1976). El enfoque constructivista aplicado a estudios de ciencia, tecnología y sociedad postula la casi total inexistencia de tales diferencias. A través de conceptos como el de tecnociencia (Latour, 1987) o trabajo limítrofe (Gyerin, 1995), este enfoque ha enfatizado la dificultad para establecer el momento en que la ciencia deja de ser tal y comienza la tecnología.

Los estudios sobre conocimiento tecnológico han sido más precisos en la caracterización de los elementos constitutivos de la tecnología, destacando tres atributos:

- a) Orientación: la tecnología supone el control de la naturaleza a través de la producción de artefactos, mientras que la ciencia supone la comprensión de la naturaleza mediante la producción de conocimiento.
- b) Organización sociotécnica: la tecnología implica un entorno de actores sociales, económicos y políticos más complejo que el científico.
- c) Rasgos cognitivos y epistemológicos: la tecnología enfatiza más el diseño, es más heterogénea en términos de disciplinarietàad, experiencia y formación de grupos sociales y da mayor importancia al conocimiento tácito (Faulkner, 1994).

Los análisis centrados en la diferenciación entre ciencia básica y aplicada han hecho hincapié en rasgos similares. La actividad científica busca la verdad, leyes y ecuaciones, mientras que la actividad práctica pretende producir artefactos que trabajen y se rijan por normas tecnológicas. Se trata de dos tipos de conocimiento que difieren en cómo se construyen sus teorías y analizan fenómenos: el conocimiento básico es analítico, jerárquico y se esfuerza por la generalidad, mientras que la investigación aplicada analiza sistemas simples y los reduce a pocos elementos y relaciones (Jansen, 1995).

Clark (1987) recoge la noción de paradigma para delimitar las diferencias entre lo científico y lo tecnológico (y lo que es a la vez científico-tecnológico). En 1962, Kuhn propone la discusión del paradigma científico desde una definición de la ciencia como evolución de una

preciencia a un estado de madurez en un sendero pautado por periodos ocasionales de agitación (ciencia revolucionaria). La etapa preciencia está marcada por la ausencia de principios de organización y la búsqueda aleatoria de hechos. Sigue a esto un proceso de maduración de la ciencia en la adquisición de un paradigma. Los paradigmas son un concepto difuso, pero aluden en términos generales a asunciones metafísicas y teorías, prácticas aceptadas y artefactos (como artículos clásicos y libros de texto) que organizan y dirigen los periodos de ciencia normal que siguen a la creación del paradigma (Balmer y Sharp, 1993).<sup>2</sup>

Dosi (1982) sugiere una interpretación del cambio tecnológico que evoca la idea de paradigmas y trayectorias tecnológicas. El paradigma tecnológico, análogamente a los paradigmas científicos, se compone de artefactos y conceptos que forman la base para el desarrollo tecnológico a través de trayectorias (vías de desarrollo) determinadas por la acumulación de conocimientos y por el carácter transable de la tecnología.

Un nuevo paradigma tecnológico aquí también es una ruptura con los paradigmas anteriores. Ciencia y tecnología no son estados discretos y separables que siguen objetivos cualitativamente distintos. Por el contrario, ambas son partes de una búsqueda de conocimiento continuo guiado por dos conjuntos de fuerzas relativos a los mercados de bienes y servicios y a los intereses y metas de profesionales del conocimiento.

A menudo estas fuerzas son mutuamente antagónicas en cuanto chocan intereses de tipo cognitivo, ideológico o vinculados con posiciones sociales y/o institucionales. En cambio, los objetivos puramente económicos refieren, en última instancia, a la satisfacción de demandas de consumidores. Cuando las fuerzas del mercado son fuertes, son susceptibles de recibir presiones constantes al cambio en el sistema de CTI. Este suele ser el caso donde las condiciones de competencia prevalecen y los clientes tienen poder directo sobre el proceso productivo.

---

<sup>2</sup> La ciencia normal refiere a un intervalo de actividad acumulativa de resolución de problemas dentro de los parámetros del paradigma y continúa hasta que el paradigma, antes incuestionable, comienza a fallar. Esto marca el comienzo de una crisis donde el paradigma original queda bajo duda y paradigmas rivales comienzan a competir por el dominio. La revolución, finalmente, se produce cuando un competidor reemplaza por completo al viejo paradigma. En este modelo, la elección entre paradigmas en competencia no guarda referencia al paradigma existente, lo que sugiere que amplios factores sociales también influyen en la elección de paradigma (Balmer y Sharp, 1993).

Sin embargo, en la medida en que tales condiciones no ocurren típicamente, se tenderá a seguir los intereses y los objetivos de las comunidades científicas y/o tecnológicas pertinentes. A menor nivel de influencia del mercado, mayor la permanencia relativa de cierto paradigma dado (Clark, 1987).

Balmer y Sharp (1993) sintetizan las similitudes y diferencias de los paradigmas científicos y tecnológicos propuestos por Clark (1987) en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Similitudes y diferencias entre paradigmas científicos y tecnológicos**

<i>Similitudes</i>	
<i>Ciencia</i>	<i>Tecnología</i>
Los conceptos y prácticas dominantes proveen las heurísticas del cambio futuro.	Las tecnologías dominantes proveen las heurísticas del cambio futuro.
La prácticas están socialmente consagradas por comunidades generalmente centradas en disciplinas académicas.	La prácticas están socialmente consagradas por comunidades generalmente centradas en organizaciones profesionales.
Distintos tipos de intereses (económicos, burocráticos, políticos, sociales) son importantes en la génesis o prevención del cambio.	Distintos tipos de intereses (económicos, burocráticos, políticos, sociales) son importantes en la génesis o prevención del cambio.
Los paradigmas alternativos son necesarios para el cambio radical.	Los paradigmas alternativos son necesarios para el cambio radical.
<i>Diferencias</i>	
<i>Ciencia</i>	<i>Tecnología</i>
Comunidad relativamente homogénea (con el laboratorio como espacio por excelencia): los paradigmas rivales tienden a ser desarrollados rápidamente.	Comunidad compleja y diferenciada (fabricantes, consumidores, organismos gubernamentales, industrias auxiliares): los paradigmas tecnológicos a menudo coexisten en cuanto el cambio tiene que ocurrir simultáneamente en varios lugares.
La ciencia está enraizada en productos como publicaciones que generan credibilidad en términos de capital cultural y simbólico.	La tecnología está enraizada en artefactos vendidos y comprados en un sistema económico.
Tiende a ser orientada a los productores o enlazada a intereses burocráticos.	Las fuerzas del mercado cumplen el rol central en determinar el éxito o el fracaso de un paradigma.

Fuente: Tomado de Balmer y Sharp (1993: 474).

## El concepto de convergencia

El concepto de convergencia recoge varios aportes reseñados que enmarcan la distinción entre ciencia y tecnología, y también alude a un debate sobre los alcances e implicaciones de las tecnologías emergentes de base científica surgidas en los últimos 25 años.

Convergencia se ha vuelto una palabra de moda en los círculos de expertos de las políticas de CTI, especialmente a partir de la iniciativa estadounidense de 2001 bajo las siglas NBIC.<sup>3</sup> En la primera versión del concepto, se enfatizaron las posibilidades de las nuevas tecnologías con altos niveles de crecimiento para mejorar el desempeño humano y, muy particularmente, el llamado mejoramiento humano: el aumento tecnológico de las capacidades humanas y la modificación de la corporeidad y el intelecto. Esta visión inicial del programa NBIC y del concepto de convergencia fue cuestionada por privilegiar lo individual sobre lo societal-comunitario. La propuesta provocó múltiples reacciones en torno a la proximidad del programa NBIC con iniciativas cercanas al transhumanismo, la ciencia ficción y campos de investigación dudosos y el ocultamiento de visiones extremas en una agenda presumiblemente de política de ciencia dura e ingeniería. Adicionalmente, causó polémica que el interés por el aumento de la cognición humana coincidiera con la creciente atención de organizaciones militares estadounidenses en el tema, en especial en relación con la nanoconvergencia (Andler *et al.*, 2008).<sup>4</sup>

En respuesta a la primera visión de la iniciativa NBIC, la Unión Europea designó un grupo de expertos que desarrollaron un enfoque basado en la demanda, según el cual la convergencia respondía a necesidades de la sociedad (Andler *et al.*, 2008). Las actividades al principio se apoyaron en ejercicios de prospectiva tecnológica y de análisis de las implicaciones sociales, económicas y ambientales de los procesos de convergencia, y dieron cabida a propuestas políticas para el desarrollo de campos tecnológicos convergentes. La propuesta de actividades de CTI del programa

---

<sup>3</sup> Las siglas reúnen lo que Roco y Bainbridge (2003) definieron como las cuatro provincias de CTI que actualmente crecen a alta tasa: nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y ciencias cognitivas (nano-bio-info-cogno).

<sup>4</sup> Andler *et al.* (2008) señalan que los principales actores de la iniciativa NBIC (particularmente Bainbridge) asumen al mundo contemporáneo como la cuna de una civilización transhumana. Se combinan así visiones fuertemente tecnodeterministas (por ejemplo, con respecto a las perspectivas de las tecnologías infantiles o imaginadas como las de neuromejoras) con ideas para una movilización social a favor del mejoramiento humano. En este marco, Bainbridge destaca la importancia de generar un movimiento social que reúna individuos para crear una comunidad de trascendencia humana de la mortalidad a través de la colonización del sistema solar en forma de robots avanzados (Bainbridge, 2007: 231, citado por Woolgar *et al.*, 2008: 14) y la creación de una nueva civilización tanto dentro como fuera de las instituciones convencionales (Bainbridge, 2003, citado por Andler *et al.*, 2008).

Marco 2014-2020 de la Unión Europea (Horizonte 2020) ejemplifica un esquema de gobernanza que recoge el interés por priorizar estos nuevos campos de innovación, pero desde un enfoque de abordaje a desafíos sociales centrales: salud, alimentación, bioproductos, esquemas energéticos, sustentabilidad e inclusión (NRC, 2010).

La versión más reciente del concepto de convergencia de Roco, Bainbridge, Tonn y Whitesides (2013) en los Estados Unidos ha considerado en buena medida las críticas a las primeras versiones. En dicho sentido ha buscado enfatizar las dimensiones educacionales, institucionales, organizacionales, ambientales y sociales de la convergencia cuyos estudios han evolucionado desde la formulación original de 2001, estando en la actualidad más centrados en la cooperación entre disciplinas científicas y campos tecnológicos. Se han consolidado en este marco dos enfoques de investigación que han desplazado la importancia de los aspectos visionarios y transhumanistas iniciales: *i*) análisis de nuevos modos potenciales de inter y transdisciplinariedad, las interrelaciones ciencia-sociedad y aspectos empíricos de la convergencia tecnocientífica y *ii*) estudios sobre contextos históricos, culturales y políticos del discurso de convergencia (Anderl *et al.*, 2008).

## **Campos tecnológicos y disciplinas tecnológicas convergentes**

La noción de convergencia supone el surgimiento de nuevas herramientas tecnológicas que no se vinculan a una sola disciplina (*e.g.* nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información, ciencias cognitivas), sino que integran a todas o varias de ellas en torno a objetivos de investigación e ingeniería de sus interfases (Lundstrom y Wong, 2013). El trabajo interdisciplinario emerge así como un gran desafío central a resolver por las estructuras de investigación, en cuanto no existe un sistema generalizado que fomente este modo colaborativo entre disciplinas (MacGregor *et al.*, 2013).

Los debates respecto a la articulación de instancias de colaboración dan cuenta de la complejidad inherente al desarrollo de investigación interdisciplinaria y, por tanto, el planteamiento del debate en relación con la cc. Este contexto impone la diferenciación entre investigación mono, multi, trans e interdisciplinaria.

La investigación disciplinaria se lleva adelante dentro de una única disciplina académica reconocida, a través de la actividad de investigadores académicos disciplinarios que intercambian conocimientos entre sí. La investigación multidisciplinaria implica dos o más disciplinas académicas que abordan un problema común. Es posible que haya en este tipo de vinculación cierto flujo de información e ideas entre los distintos socios de disciplina. Sin embargo, en ella los participantes suelen aún enmarcar sus objetivos y resultados de investigación en referencia a sus disciplinas de origen.

Por el contrario, la investigación interdisciplinaria requiere la articulación de objetivos de investigación comunes y un trabajo activo de integración teórico-cognitiva de las disciplinas participantes. La investigación transdisciplinaria también se esfuerza por lograr la integración de los conocimientos, pero de forma distinta a la interdisciplina. En la transdisciplina cada una de las disciplinas aporta partes de conocimiento a un problema común, pero no todo su cuerpo disciplinario como en la interdisciplina. De allí que en la investigación interdisciplinaria resulte clave desarrollar vocabularios y entendimientos compartidos (dialektos y metáforas) desde lenguajes disciplinarios especializados, con el fin de identificar interfases fructíferas y procesos de construcción de confianza en el investigador y con el proceso de la investigación. Esto supone la negociación de los supuestos y valores sobre el proceso de hacer la investigación y/o ser un investigador. Para esto, los investigadores interdisciplinarios deben primero saber cómo son disciplinariamente diferentes y, por ende, reflexionar sobre los límites de cada especialidad (Hinrichs, 2008).

En términos de CT, para la visión de NBIC el fenómeno de convergencia supone un proceso evolutivo cuyas etapas afectan a empresas, mercados, tecnologías, industrias y productos convergentes. En el marco de sistemas productivos crecientemente complejos, la participación de las empresas en tecnologías emergentes depende de factores internos y externos.

A nivel interno, influyen los modos en que las empresas buscan nuevo conocimiento, liderazgo creativo y/o nuevas tecnologías. En este contexto, es central el rol que cumplen las propiedades relacionales de los saberes que definen la base de conocimiento de una empresa, y que, por ende, determinan el desempeño innovador de la firma. Las propiedades

relacionales de conocimiento refieren a cuán sustituibles o complementarios son los elementos del conocimiento que caracterizan la composición estructural de la base organizacional de conocimiento de la empresa (Dibiaggio *et al.*, 2014).

Los factores externos incluyen demandas de clientes especializados respecto a las nuevas funcionalidades o mejoras de productos. Estas demandas pueden presentarse como nuevos tipos de tecnologías disponibles por medio de empresas nacientes, de aquellas ya existentes que manejan tecnologías emergentes a través de las que mejoran un determinado producto (Larsen *et al.*, 2009) o de conocimientos científicos desarrollados por grupos científicos y sus organizaciones de I+D. La idea de ampliación de la base de conocimiento de las empresas como estrategia competitiva decisiva en los procesos actuales de innovación no dista de otras nociones de capacidades de las firmas que dan cuenta del fenómeno relacionado con la necesidad de incorporar conocimiento externo, ante la mayor tasa de cambio tecnológico y los menores ciclos de vida de los procesos y productos.

Como se desarrollará en las próximas secciones, la visión de NBIC sobre el carácter convergente de la innovación destaca, ante todo, los procesos vinculados a la CT y los efectos de la convergencia a nivel técnico-productivo. Y da, como contraparte, una menor relevancia a la CC y a los procesos cognitivos y epistemológicos que supone toda construcción de nuevos paradigmas científicos.

## **Convergencia científica y convergencia tecnológica en relación con la biotecnología**

Esta sección busca exponer qué implica la convergencia en el sector biotecnológico. Para ilustrar lo anterior, se presentan en primer lugar las nuevas dinámicas cognitivas y de aprendizaje biotecnológicas con el fin de ilustrar los elementos constitutivos del sector en términos tecnológicos y de mercado. En segundo lugar, se dan como referencia algunos campos que muestran visos de procesos de convergencia que involucran directamente a la biotecnología. En distintos recuadros se ofrecen ejemplos empíricos específicos de avances significativos en esos campos.

## Dinámicas de conocimiento y aprendizaje en el sector biotecnológico

La evolución reciente del sector ha estado marcada por transformaciones en su base cognitiva propiciadas por las revoluciones del ADN y la genética molecular, el advenimiento de la biología molecular y avances significativos en la fisiología, la farmacología, la enzimología y la biología celular (McKelvey *et al.*, 2004: 89). Estos cambios impactaron al campo farmacéutico y luego también al sector agropecuario.

Estas modificaciones cognitivas se acompañaron de variaciones en otros dos ámbitos. Por una parte, innovaciones institucionales<sup>5</sup> facilitaron, desde la década de los años ochenta del siglo xx, la consolidación de un modelo global de negocios e innovación biotecnológico al estilo estadounidense. Basado en una fuerte investigación científica pública licenciada a empresas privadas, la creación de nuevas empresas, fuertes derechos de propiedad intelectual establecidos y un alto protagonismo de los inversores de riesgo para financiar nuevas empresas (Sztulwark, 2012).

A la vez, se transformó el régimen de aprendizaje de la biotecnología, cuya manifestación más ilustrativa es el surgimiento de un nuevo tipo de agentes: las empresas especializadas o nuevas empresas biotecnológicas que, junto a las grandes firmas verticalmente integradas, son los principales actores empresariales del sector.

Las empresas de biotecnología especializadas se concentran en el desarrollo del potencial comercial de desarrollos en ciencia y tecnología de investigadores de universidades y hospitales. La función de estas firmas ha sido la transformación del conocimiento científico básico de ori-

---

<sup>5</sup> Tres hitos fundamentales pautaron estas transformaciones: i) la decisión de la Suprema Corte estadounidense en 1980 de extender la protección a organismos vivos; ii) el acta Bayh-Dole de ese mismo año que autorizó a instituciones de CTI a patentar sus resultados de investigaciones públicas y favoreció la exploración de esos resultados a través de asociaciones con privados, creación de empresas por parte de investigadores o licenciamientos exclusivos a empresas privadas, y iii) la directriz de la Oficina de Patentes y Marcas estadounidenses de 1987 de poder patentar cualquier organismo vivo pluricelular (excepto humanos) en tanto se consideraba que la identificación y clasificación de las propiedades y funciones de un gen eran condición suficiente para reclamar el invento de ese gen (Sztulwark, 2012).

gen público en técnicas y productos comercialmente útiles (McKelvey *et al.*, 2004: 92).<sup>6</sup>

En cambio, en el modelo dominante de la gran firma verticalmente integrada la empresa se involucra en la mayoría de las actividades para desarrollar y comercializar un nuevo producto o proceso biotecnológico, incluyendo I+D, producción, distribución y *marketing*. Estas empresas, que reciben ingresos de la venta de productos de la biotecnología y del desarrollo de sus propios productos, proporcionan además un mercado para los descubrimientos de las empresas especializadas en biotecnología (OECD, 2009: 164-167).<sup>7</sup>

En este contexto, la vinculación del sector biotecnológico está pausada por una combinación de relaciones horizontales y verticales. Por una parte, la dependencia de la biotecnología hacia su base científica y un *know-how* común (Joly y De Looze, 1996) lleva a que la formación de redes de colaboración estructuradas a partir del apoyo de programas públicos para el sector de investigación (fondos a proyectos, infraestructuras y formación de capital humano) sea un factor de impulso a la biotecnología (Webber, 1995). Por otra parte, como fenómeno opuesto presenta una creciente importancia la compra y absorción de empresas

---

<sup>6</sup> Muchas de estas empresas tardan años y hasta décadas para pasar de un descubrimiento a un producto comercializable, pues suelen carecer de los recursos necesarios para fabricar, distribuir y comercializar sus invenciones. Su modelo de negocios depende así de la obtención de financiamiento del capital de riesgo u otra fuente, de la venta de licencias de conocimiento especializado a grandes firmas o del desarrollo de investigación para las mismas bajo contratos o alianzas conjuntas. Para estas empresas es difícil llegar al mercado, pues deben cumplir con dos requisitos complejos en un sector con fuertes barreras de entrada y pocos grandes jugadores dominantes: *i*) recursos para cubrir costos de regulación e I+D, y *ii*) una infraestructura de *marketing* que incluye contactos con una base de clientes y un sistema de administración para vincular a la empresa con sus clientes (Wield *et al.*, 2010).

<sup>7</sup> En la última década, estas empresas transnacionales (ETN) han diferido en su grado de inversión en tecnologías de organismos genéticamente modificados (OGM) de reemplazo de tecnologías previas o como adición a otras trayectorias tecnológicas y líneas de productos, existiendo también variaciones conforme al sector de aplicación de las biotecnologías modernas. Dentro de estas diferencias, una trayectoria común de las grandes empresas ha sido la búsqueda de la ampliación de su base cognitiva (esfuerzos por aumentar sus capacidades de investigación y absorción) y una profundización de sus vínculos con la comunidad científica pública desde una estrategia centrada en su consolidación como actores científicos activos y no como simples observadores pasivos y usuarios (McKelvey *et al.*, 2004: 94-95).

biotecnológicas especializadas por parte de las grandes empresas verticalmente integradas. El fenómeno ha favorecido, desde la década de los años ochenta del siglo pasado, la conformación de grandes actores que concentran la mayoría del mercado, especialmente en el sector farmacéutico y agrobiotecnológico.

### Campos biotecnológicos donde se observan procesos de convergencia tecnológicos

La biotecnología no constituye un sector o industria en sí, sino que comprende un conjunto de tecnologías y herramientas de investigación transversales respaldadas en la ciencia con aplicaciones en diversos sectores. De forma genérica, la biotecnología se define como una multidisciplina que implica a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos en usos específicos (Echenique *et al.*, 2004).

Ante la amplitud de la definición, distintos relevamientos internacionales han clasificado las técnicas en biotecnología de la siguiente manera: basada en ADN; basada en proteínas y moléculas; basada en cultivo e ingeniería celular y de tejidos; procesos biotecnológicos; organismos subcelulares; bioinformática; nanobiotecnología, y ambiental. Aunque estas categorías combinan técnicas con aplicaciones, permiten apreciar áreas de convergencia potencial (Statistics Canada, 2005).<sup>8</sup>

La noción de convergencia es una característica distintiva de varios campos de investigación y desarrollo y un punto de entrada para la comprensión de factores determinantes de los procesos actuales de innovación y creación de valor (Robinson, 2015). Con tal propósito, se reseñan

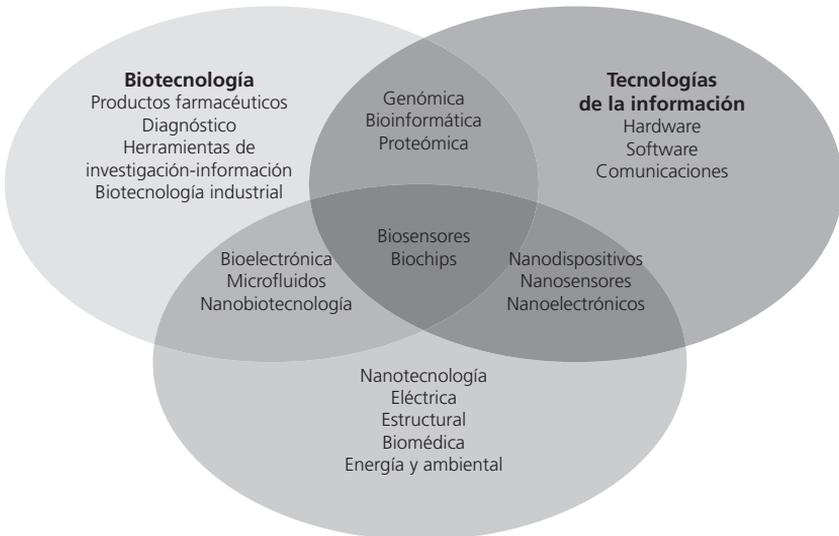
---

<sup>8</sup> Esta clasificación permite vincular a la biotecnología con el uso de conocimiento biotecnológico para desarrollar nuevos procesos para la producción de una amplia gama de productos, incluyendo productos biofarmacéuticos, vacunas recombinantes, nuevas variedades de plantas y animales y enzimas industriales. Este conocimiento, que requiere de esfuerzos intensivos en I+D e innovación, incluye una comprensión del ADN, ARN, proteínas y enzimas en el nivel molecular, de formas de manipular las células, tejidos, órganos u organismos enteros y de la bioinformática para el análisis de genomas y proteínas (OECD, 2009: 22-23).

aquí de forma no exhaustiva algunas áreas que muestran trayectorias y procesos más sólidos de convergencia donde se involucra directamente la biotecnología.

En primer lugar, se destaca el potencial de las tecnologías biomédicas convergentes. El creciente énfasis en investigación traslacional en biomedicina, junto con la fertilización cruzada en campos como la biotecnología, la nanotecnología y las TIC prometen actualmente desarrollos interdisciplinarios y soluciones convergentes para la prevención, proyección, diagnóstico, terapias, monitoreo y/o gestión de enfermedades. Los campos convergentes de la biomedicina muestran rasgos de investigación multi e interdisciplinaria. Buena parte de los alcances logrados en este ámbito radican en la necesidad del campo de la mejora física y las biomedicinas de combinar disciplinas, métodos y perspectivas. Aquí son muy altos los requerimientos de investigación interdisciplinaria y la cooperación para el desarrollo tecnológico, así como los costos de error extremadamente onerosos (Beckert *et al.*, 2008: 17-27).

Gráfico 1. Convergencia en el sector biomédico



Fuente: Tomado de Shmulewitz *et al.* (2006: 277).

Existe un fuerte interés e inversión para que los avances en la bio y nanotecnología conduzcan a nuevos métodos de terapia y mejoras de las capacidades físicas humanas. En este campo, una primera categoría influida por las tecnologías convergentes se vincula con las terapias. Aquí un concepto central relacionado es el de la administración de nanofármacos. Esto es, el uso de materiales de nanoingeniería con el fin de liberar fármacos en lugares particulares del cuerpo y el desarrollo de sistemas que mejoren la farmacocinética de las terapias y permitan a las drogas cruzar barreras biológicas (Beckert *et al.*, 2008: 20).

#### **Recuadro 1. Innovaciones en el suministro de fármacos**

Sagetis Biotech es una compañía biotecnológica del tipo *start-up* localizada en Barcelona. El equipo de investigación de la firma se encuentra desarrollando enfoques innovadores en el suministro de fármacos, con especial atención en las barreras específicas que son parte del propio sistema de defensa del cuerpo humano.

Estos obstáculos incluyen la barrera sangre-cerebro, la capa intestinal, los tejidos oculares y otros. Fundada como *spin-off* del Grupo de Ingeniería de Materiales en el Instituto Químico de Sarriá en España, Sagetis utiliza plataformas basadas en polímeros para permitir la encapsulación de material genético y los compuestos terapéuticos en nanopartículas.

Otra categoría que genera expectativas por incorporar tecnologías convergentes es la genómica, la cual abarca áreas de la farmacogenómica y la farmacogenética. Estudios farmacogenéticos sugieren que la respuesta de los individuos a diferentes fármacos se puede predecir sobre la base de pruebas genéticas. Al permitir el desarrollo de productos farmacéuticos que se adaptan a la composición genética individual, se contempla a ambas áreas como indicadores de procesos de evolución hacia la medicina personalizada (Beckert *et al.*, 2008: 21).

Desde finales del siglo xx, distintos programas en genómica en los Estados Unidos de América, Canadá, Europa y Japón han concentrado recursos públicos y privados para la organización de centros o consorcios con investigadores de múltiples instituciones. Las grandes inversiones en iniciativas de genómica estructural han creado un doble desafío: para los centros, emerge el reto de satisfacer las expectativas creadas por los proponentes de la genómica estructural respecto a la generación eficiente de formas de proteínas; para la comunidad investigadora, la justificación del valor científico de sus logros ante la biología estructural tradicional frente a las importantes inversiones realizadas (Sá y Tamtik, 2011: 26).

### Recuadro 2. Entender el genoma humano

El Instituto Broad en Cambridge, Massachusetts, es operado en forma conjunta por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y la Universidad de Harvard, los cuales también comparten la propiedad del instituto. En el cruce de la biología y la medicina, los proyectos de investigación en curso desarrollados por el Instituto Broad implican a múltiples disciplinas de la ciencia y la tecnología. Las áreas de interés del instituto incluyen esfuerzos para identificar los elementos funcionales del genoma humano, definir los circuitos biológicos que intervienen en las respuestas celulares, entender las bases moleculares de las enfermedades hereditarias y más allá. Para estos esfuerzos, el Instituto Broad se basa en instalaciones altamente completas de los laboratorios de biología molecular, así como una gran capacidad computacional para la secuenciación y el modelado. Las capacidades y habilidades de su personal de investigación reflejan una convergencia activa de estos y otros campos.

## **Biotecnología: paradigmas, convergencia científica (cc) y convergencia tecnológica (ct)**

Este apartado analiza el desarrollo de la biotecnología como paradigma científico y tecnológico a la luz de una comprensión de la convergencia que la define como la irrupción de nuevos paradigmas emergidos del trabajo conjunto entre paradigmas previos. En este contexto, este apartado discute y reflexiona sobre el real alcance de estos procesos, especialmente enfatizando si estas confluencias suponen: *a)* el surgimiento de nuevos esquemas, prácticas científicas y heurísticas o *b)* trabajos trans o interdisciplinarios que combinan aportes de distintos paradigmas y arriban a nuevos productos, procesos o servicios en el mercado, sin afectar los abordajes cognitivos de los paradigmas originales involucrados.

Por las características reseñadas en la sección previa, la biotecnología moderna puede pensarse como un sector representativo del fenómeno de convergencia por tres razones. En primer lugar, esta es relevante en la articulación de un nuevo esquema de desarrollo económico característico de la economía actual y representativo de los contextos económicos y políticos actuales en que se inserta el fenómeno de la convergencia. Las aplicaciones de biotecnología modernas en distintos sectores (salud humana, agropecuario e industrial) han buscado constituirse como respuesta a las restricciones que enfrenta la acumulación capitalista, ante la crisis del paradigma tecnoeconómico basado en la energía barata desde el petróleo que sustentó el crecimiento capitalista de posguerra. Las biotecnologías modernas, ante los límites que experimentaron las industrias de base

química en los años setenta como industrias proveedoras de insumos básicos de ese modelo, emergieron como una promesa para reemplazar las tecnologías basadas en el petróleo por nuevas materias primas biotecnológicas (Gutman y Lavarello, 2014: 10). La OECDE (2009) incluso habla de la aparición de una bioeconomía basada en la aplicación de biotecnología moderna en los grandes sectores de aplicación mencionados: producción primaria, salud e industria.

En segundo lugar, la biotecnología es un sector definido por una fuerte interrelación entre ciencia y tecnología: el desarrollo del sector ha sido determinado por cambios en la base del conocimiento que marcan la evolución de la biotecnología tradicional a la moderna. Como consecuencia, el modelo de negocios de la biotecnología moderna también ha estado marcado por un estrecho vínculo entre campos científicos y tecnológicos. Las dinámicas económicas y tecnológicas del sector se basan en un modelo dual donde empresas de base científica desarrollan investigaciones de alto riesgo y alto costo que son el fundamento cognitivo de muchos de los productos y procesos del sector. Estos conocimientos son luego desarrollados y llevados al mercado por grandes empresas verticalmente integradoras que dominan el sector: fuertes grupos farmacéuticos, químico-industriales y agroindustriales que articulan redes de investigación, son cercanas a la investigación científica básica y concentran la mayoría del mercado en biotecnología.

Finalmente, es importante considerar que la biotecnología es un campo donde se desdibujan las distinciones entre investigación básica (donde se desarrolla un conocimiento más allá de cualquier consideración de utilidad) y aplicada (que se trabaja específicamente para obtener un proceso o producto particular).<sup>9</sup> El tránsito de la biotecnología tradicional a la moderna ha estado determinado por un nuevo patrón de aprendizaje que implicó nuevos procedimientos de aprendizaje y descubrimiento, una nueva estructura de búsqueda, nuevas definiciones de problemas a resolverse y el uso de novedosas heurísticas y rutinas para resolver esos problemas. Este cambio modifica la estructura organizacio-

---

<sup>9</sup> A menudo, las personas involucradas en biotecnología encuentran que el trabajo que consideran como investigación básica resulta tener aplicación práctica. De igual modo, los que participan en el desarrollo de aplicaciones prácticas suelen encontrar que añaden una base de conocimientos fundamentales en el proceso (Balmer y Sharp, 1993: 465).

nal de las actividades innovativas, rediseñando los patrones de división del trabajo, las estructuras de incentivos y los mecanismos de selección de los agentes del sector (McKelvey *et al.*, 2004: 91-92).

Un nuevo paradigma tecnológico supone la existencia de bases de conocimiento y trayectorias innovadoras que convergen en un conjunto de patrones comunes de solución de problemas técnicos y de gestión como factor crítico para afectar las condiciones de costo de la mayoría de las actividades económicas. Tomando el caso de la biotecnología, por ejemplo, es aún arriesgado afirmar que esta sea un paradigma tecnoeconómico en sí. La trayectoria de estos sectores parece mostrar antes distintos paradigmas tecnológicos sectoriales con sus propias heurísticas de solución de problemas (distintas biotecnologías y no una sola), ante lo cual grupos industriales desarrollan varias formas de diversificación tecnológica, modificando sus esquemas de gobernanza y coherencia tecnológica (Gutman y Lavarello, 2014: 23).

Dada la compleja frontera entre ciencia y tecnología que presenta la biotecnología, supone un caso ilustrativo para comprender la diferenciación en términos científicos y tecnológicos que se presentan en su interior.

En términos de paradigmas tecnológicos, la biotecnología puede involucrar a la ingeniería genética, la que es discontinua con la segunda generación de biotecnologías basadas en técnicas avanzadas de fermentación derivadas de la revolución microbiológica de finales del siglo XIX. La ingeniería genética también forma parte de la base de un amplio rango de trayectorias biotecnológicas, siendo las actuales las hibridomas, los productos farmacéuticos, los productos químicos y la biotecnología vegetal basada en plantas.

Los paradigmas científicos de la biotecnología son diferentes. En primer lugar, aunque el paradigma tecnológico de la ingeniería genética representa un importante avance científico, no es un paradigma científico en sí. Las técnicas utilizadas son parte de un momento de ciencia normal de resolución de problemas, establecida principalmente dentro del modelo asociado con el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953. El paradigma biotecnológico de ingeniería genética se basa en esta línea de descubrimientos, mientras que las técnicas de “segunda generación” descansan en una tradición científica diferente: el descubrimiento de la fermentación como proceso orgánico y la fundación de la microbiología (Balmer y Sharp, 1993: 475).

Como señala Clark (1987), la diferenciación entre ciencia y tecnología está afectada por la existencia de algunos temas científicos donde hay mayor superposición con áreas tecnológicas. En esos espacios hay una tensión entre intereses y objetivos, paradigmas científicos y demandas del mercado, y necesidades y objetivos de la comunidad tecnológica.

De este modo, el tratamiento de la biotecnología como un conjunto de conocimientos derivados de la ciencia o como tecnología propia depende, en buena medida, de los compromisos paradigmáticos de las instituciones que se involucran con el área. La propuesta de Clark permite, así, visualizar los espacios de ciencia estratégica que se constituyen como nodos dentro de estos espacios de intersección entre la ciencia y la tecnología (Balmer y Sharp, 1993). Así, por ejemplo, la ingeniería de proteínas hace preguntas fundamentales sobre la naturaleza de las proteínas y cómo la estructura determina la función. Se esperaría que las respuestas a esas preguntas se determinen dentro del paradigma de la biología molecular estructural y genética. Sin embargo, estos factores también son cruciales para un uso eminentemente práctico: el diseño de nuevos fármacos, el cual podría ser visto como parte de una trayectoria tecnológica farmacéutica. De este modo, la ingeniería de proteínas se convierte en un punto de intersección entre las trayectorias científicas y tecnológicas. Es en estos nodos donde se manifiesta la mayor tensión entre los objetivos esperados de la ciencia y los de la tecnología.

La noción de los paradigmas científicos y tecnológicos desarrollada es punto de inicio analítico y conceptual para la comprensión, crítica y discusión respecto al real del nivel de desarrollo de procesos de convergencia entendida como la sustitución de viejos paradigmas por nuevos paradigmas. El proceso de convergencia supone la presencia de al menos dos paradigmas que como producto del trabajo de I+D conjunto generan un nuevo paradigma que los sustituye. En términos de paradigmas científicos, el proceso alude a un proceso de cambio de un periodo de ciencia normal por un periodo emergente de ciencia revolucionaria marcada por la irrupción de un nuevo paradigma (científico o tecnológico). En términos de paradigmas tecnológicos, el proceso de convergencia estaría marcado por la formación de un nuevo sendero de desarrollo de artefactos y conceptos técnicos como consecuencia del trabajo conjunto de dos patrones, regímenes y/o paradigmas tecnológicos previos.

## **Implicaciones en términos de política pública, adaptación académica y papel del sector privado**

Para que México y otros países de América Latina sean capaces de sacar el máximo provecho de la naturaleza evolutiva de los procesos de convergencia que se describen en este capítulo, son requeridos múltiples ajustes estructurales y funcionales en términos de las políticas gubernamentales, las funciones universitarias y en redes empresariales.

Asumiendo la función gubernamental clave de proveer incentivos de apoyo para nuevas iniciativas de innovación, las entidades del sector público que financian actividades de I+D (como los organismos nacionales de ciencia y tecnología) pueden fomentar procesos creativos de convergencia desde las condiciones que establecen en sus convocatorias de apoyo a la I+D y en sus sistemas de apoyo a los investigadores (como el Sistema Nacional de Investigadores —SNI— en México). De igual forma, distintos ajustes y procesos de modernización del marco reglamentario y normativo correspondiente también seguirán siendo una condición esencial para dar una mayor posibilidad de predicción sobre la aceptación a nuevos productos tecnológicos.

Por su parte, las universidades pueden apoyar el impulso a procesos de convergencia desde iniciativas para promover y facilitar las actividades interdisciplinarias tanto en sus programas académicos y de investigación, como desde sus esfuerzos de transferencia de tecnología y de formación y consolidación de vínculos empresariales. Al mismo tiempo, las universidades deben defender la necesidad de mantener y continuar los procesos de desarrollo de investigación en disciplinas de las ciencias básicas tradicionales.

El sector privado, finalmente, debe asumir un papel de liderazgo en el desarrollo y el mantenimiento de las condiciones de mercado viables para la innovación y para productos innovadores resultantes de actividades de convergencia. El grupo empresarial está en la mejor posición para aprovechar vínculos y canales en cadenas globales de valor pertinentes para la innovación de productos y procesos resultantes de las tendencias de la tecnología de convergencia. En el caso de las empresas relacionadas con la biotecnología, tanto en México como en otros países latinoamericanos, las oportunidades de convergencia de tecnología abundan tanto en el sector de la salud como en el agroalimentario.

A todo lo anterior debe agregarse como un factor crítico imprescindible el apoyo de un liderazgo oportuno y creativo.

## Conclusiones y futuras áreas de investigación

La creciente necesidad de colaboración entre disciplinas parece ser un hecho evidente en los procesos actuales descritos como de convergencia tecnológica. No obstante, el alcance de los procesos de CC aún no se vislumbra con claridad. No es claro, por ejemplo, que las biomedicinas sean un nuevo paradigma científico compuesto por un conjunto de conocimientos y heurísticas propias y una nueva perspectiva o enfoque disciplinario. En cambio, antes parecen ser ejemplo de campos de investigación que podrían beneficiarse por un enfoque trans o incluso interdisciplinario, en donde varias disciplinas colaboran y aportan a la resolución de diversos problemas de investigación desde su propia perspectiva teórico analítica disciplinaria (Beckert *et al.*, 2008).

La palabra *convergencia* en el planteamiento NBIC y combinaciones semejantes supone definir un grado de fusión de diferentes ciencias, más allá de intersecciones esporádicas o colaboraciones temporales entre diferentes campos en un tema específico. No se visualiza con claridad en estos desarrollos una conjunción/convergencia de herramientas, idiomas y mentalidades de cada una de esas disciplinas que trabajan en colaboración. De esta forma, no aparece claro en qué modo las disciplinas originarias dejen de existir o son absorbidas por una nueva en el proceso en que se da lugar a otros paradigmas científicos.

En dicho sentido, la convergencia se aproxima más a la CT que a la CC. El nivel de sustitución de viejos paradigmas por unos nuevos se limita principalmente al nivel técnico-práctico: la convergencia se da más en cuanto al hacer y construir cosas (estructuras, objetos, artefactos o dispositivos totalmente nuevos) que en un plano teórico (Anderl *et al.*, 2008: 23-25). En tal sentido, la CT merece mayores reflexiones en torno al modo en que puede influir sobre las formas en que se produce el conocimiento científico y sobre las tendencias de tecnociencias o espacios limítrofes previamente reseñados.

El proceso de convergencia se manifiesta, asimismo, con mayor dinámica en el panorama de las agendas de CTI que en el ejercicio diario

en sí de la I+D y la innovación. La reflexión desarrollada en este trabajo contiene la discusión sobre la interdisciplinariedad. Sin excluir la posibilidad de encontrar procesos de confluencia real (en términos de la aparición, formación y consolidación de nuevas disciplinas o subdisciplinas científicas), la noción de interdisciplinariedad en relación con el concepto de convergencia requiere de una mayor investigación en términos de: *i*) el grado en que estas tecnologías convergentes (biotecnología, nanotecnología, TIC y ciencias cognitivas) requieren o al menos pueden beneficiarse de una convergencia de la investigación científica y *ii*) el grado en que la CT puede afectar los modos de producción de conocimiento científico (Aandler *et al.*, 2008).

El concepto NBIC incluido como ejemplo abarca al menos cuatro campos de la ciencia y el desarrollo tecnológico y por lo tanto tiene que incorporar muy diferentes competencias. Actualmente la investigación interdisciplinaria es un tema candente en la agenda de políticas de CTI. En tal sentido, es importante retomar la noción de que la CC se desarrolla como resultado de la creciente necesidad de la investigación interdisciplinaria y el modo en que esta, a su vez, es resultado de la importancia en aumento de los problemas sociales como motores para el desarrollo tecnológico.

Los avances y aportes de la biotecnología en los campos de la salud y la alimentación ejemplifican avances respecto al modo en que los problemas sociales se convierten en motores de la innovación tecnológica. Durante las últimas tres o cuatro décadas la biotecnología transformó la agricultura y la medicina. En primer lugar, se percibe una transformación de la biología como ciencia observacional hacia un campo de la investigación que comienza a asemejarla a las ciencias físicas. Un desarrollo muy significativo en la última década ha sido el aumento de las disciplinas "ómicas": la genómica, la proteómica, la metabolómica, la genómica cognitiva. Distintas herramientas de otros sectores tecnológicos (y sus paradigmas cognitivos e instrumentos heurísticos) han jugado un papel importante en estos avances. Por ejemplo, en la biología y la medicina las herramientas de *hardware* y constructos teóricos utilizados tradicionalmente en la ingeniería de sistemas físicos comienzan a hacer importantes contribuciones a los avances en las ciencias biológicas y la prestación de asistencia sanitaria.

Han ocurrido también importantes adelantos en la capacidad y velocidad de secuenciación del ADN y de genes, nuevos métodos de

diagnóstico, el seguimiento tridimensional (en el nivel de molécula individual) de los motores de proteínas, enzimas, liposomas y otras bionoestructuras. Dichas herramientas, además de ser derivadas de varias disciplinas, han ocasionado oportunidades de convergencia tecnológica de largo alcance (Lundstrom y Wong, 2013).

Al nivel de la agricultura y alimentación se denota un proceso marcado por un énfasis creciente en la sustentabilidad en la última década, que se suma a los intereses en la productividad como metas de la I+D en el sector. En tal sentido, la agricultura sustentable se ha ido consolidando como campo de I+D determinada por cuatro elementos constitutivos: a) satisfacer la alimentación humana y animal y contribuir a las necesidades de biocombustibles; b) mejorar la calidad del medio ambiente y la base de recursos; c) mantener la viabilidad económica de la agricultura, y d) mejorar la calidad de vida de agricultores, trabajadores agrícolas y la sociedad en su conjunto.

### **Recuadro 3. Producción novedosa de enzimas alimenticias**

Agrivida es una empresa financiada con capital de riesgo con sede en Medford, Massachusetts, Estados Unidos de América. Esta firma desarrolla tecnologías para el uso de las plantas como fábricas para producir enzimas para la fortificación nutricional de la alimentación animal. La novedosa plataforma de tecnología biomolecular de la compañía está diseñada para reducir costos y mejorar el rendimiento de la alimentación animal. El equipo de investigación de Agrivida está compuesto por personas con experiencia en la ingeniería de proteínas, la biología molecular, la biotecnología vegetal, la agronomía y la ingeniería química.

Se pueden destacar dos importantes avances en términos de nuevos sistemas tecnológicos que muestran procesos de CT: la agricultura de precisión<sup>10</sup> (incluyendo mejoramiento genético a través del uso de marca-

<sup>10</sup> La agricultura de precisión supone un enfoque de sistemas para el manejo de la producción de cultivos en contextos específicos. El fundamento de este tipo de agricultura se basa en técnicas de datos geoespaciales para la mejora de la gestión de los insumos y la documentación de los resultados de producción. Un facilitador tecnológico clave para esta se originó en la disponibilidad pública del sistema de navegación global por satélite de Estados Unidos (GNSS). El GNSS brinda datos muy precisos y de alta resolución para los rendimientos de mapeo y contenido de humedad. Los avances en la agricultura de precisión han influido en múltiples aspectos de la producción agrícola: el diseño de la nueva maquinaria, incluyendo plantadores de precisión, pulverizadores, aplicadores de fertilizantes e instrumentos de labranza (Diallo *et al.*, 2013).

dores moleculares) y los sistemas de labranza de conservación del suelo<sup>11</sup> (Diallo *et al.*, 2013). Estos dos ejemplos ilustran dimensiones relevantes para futuros estudios respecto al nivel de CC y CT en que se presentan los desarrollos recientes en estos dos ámbitos. Es preciso determinar las bases comunes científicas y tecnológicas en proyectos de investigación donde puedan desarrollarse procesos de convergencia, especialmente viendo las vías en que las diferentes disciplinas se involucran en el contexto de los proyectos en general.

En este contexto, las preguntas de investigación en el campo de la interdisciplina son complejas y exigen una búsqueda incesante sobre los rasgos de las prácticas y los problemas de la investigación interdisciplinaria. Al respecto resulta central distinguir las cuestiones generales de la investigación interdisciplinaria que se pueden aplicar a la CC y la CT y los problemas específicos interdisciplinarios que se plantean en un contexto de CT, especialmente el bajo grado de integración interdisciplinaria que suele encontrarse en los proyectos más destacados de I+D actual (Anderl *et al.*, 2008).

## Referencias

Anderl, Daniel, Simon Barthelmé, Bernd Beckert, Clemens Blümel, Christopher Coenen, Torsten Fleischer, Michael Friedewald, Christiane Quandt, Michael Rader, Elena Simakova y Steve Woolgar (2008). *Converging Technologies and Their Impact on the Social Sciences and Humanities (CONTECS). An Analysis of Critical Issues and a Suggestion for a Future Research Agenda*, Karlsruhe, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research.

---

<sup>11</sup> Los sistemas de labranza de conservación del suelo muestran potenciales beneficios ambientales y económicos. Dejan un mínimo de 30% de los residuos de los cultivos, o por lo menos 1.100 kg por hectárea de residuos de pequeños granos sobre la superficie del suelo durante el periodo de la erosión del suelo crítico. La ventaja más significativa es menor erosión del suelo debido al viento y el agua. Estos sistemas también benefician a los agricultores al reducir el consumo de combustible y la compactación del suelo. Este método de labranza se ha adoptado crecientemente en los Estados Unidos de América en la última década: se ha utilizado en 44 millones de hectáreas, 38% del total nacional de tierras de cultivo en 2004 (Diallo *et al.*, 2013).

- Bainbridge, William (2007). "Converging Technologies and Human Destiny", *Journal of Medicine and Philosophy*, vol. 32, núm. 3, pp. 197-216.
- Bainbridge, William (2003). "Challenge and Response", *Speech to the World Transhumanist Association's 2003 Haldane Award Banquet*, Yale University, 28 de junio.
- Balmer, Brian y Margaret Sharp (1993). "The Battle for Biotechnology: Scientific and Technological Paradigms and the Management of Biotechnology in Britain in the 1980s", *Research Policy*, vol. 22, pp. 463-478.
- Beckert Bernd, Clemens Blümel, Michael Friedewald y Axel Thielmann (2008). "A R&D Trends in Converging Technologies", en Daniel Andler *et al.*, *Converging Technologies and Their Impact on the Social Sciences and Humanities (CONTECS). An Analysis of Critical Issues and a Suggestion for a Future Research Agenda*, Karlsruhe, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research.
- Brooks, Harvey (1994). "The Relationship Between Science and Technology", *Research Policy*, vol. 23, núm. 5, pp. 477-486.
- Clark, Norman (1987). "Similarities and Differences Between Scientific and Technological Paradigms", *Futures*, vol. 19, núm. 1, pp. 26-42.
- Diallo, Mamadou, Bruce Tonn, Pedro Alvarez, Philippe Bardet, Ken Chong, David Feldman, Roop Mahajan, Norman Scott, Robert G. Urban y Eli Yablonoitch (2013). "Implications: Convergence of Knowledge and Technology for Sustainable Society", en *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Estados Unidos, National Science Foundation, pp. 371-431.
- Dibiaggio, Ludovic, Maryam Nasiriyar y Lionel Nesta (2014). "Substitutability and Complementarity of Technological Knowledge and the Inventive Performance of Semiconductor Companies", *Research Policy*, vol. 43, núm. 9, pp. 1582-1593.
- Dosi, Giovanni (1982). "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Direction of Technical Change", *Research Policy*, vol. 11, núm. 3, p. 147-162.
- Echenique, Viviana, Clara Rubinstein y Luis Mroginiski (2004). *Biotechnología y mejoramiento vegetal*, Buenos Aires, Ediciones INTA.
- Faulkner, Wendy (1994). "Conceptualizing Knowledge Used in Innovation: A Second Look at the Science-Technology Distinction and Industrial Innovation", *Science, Technology, & Human Values*, vol. 19, núm. 4, pp. 425-458.

- Gieryn, Thomas (1995). "Boundaries of Science", en *Handbook of Science and Technology Studies*, Londres, Sage, pp. 393-443.
- Gutman, Graciela y Pablo Lavarello (2014). *Biotecnología industrial en Argentina. Estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*, Buenos Aires, Gran Aldea Editores.
- Hinrichs, Clare (2008). "Interdisciplinarity and Boundary Work: Challenges and Opportunities for Agrifood Studies", *Agricultural Human Values*, vol. 5, núm. 2, pp. 209-213.
- Jansen, Dorothea (1995). "Convergence of Basic and Applied Research? Research Orientations in German High-Temperature Superconductor Research", *Science, Technology, & Human Values*, vol. 20, núm. 2, pp. 197-233.
- Joly, Pierre-Benoit y Marie-Angele de Looze (1996). "An Analysis of Innovation Strategies and Industrial Differentiation Through Patent Applications: the Case of Plant Biotechnology", *Research Policy*, vol. 25, pp. 1027-1046.
- Larsen, Peter Bjørn, Toni Ahlqvist y Karl Friðriksson (2009). *Applying Technology Convergence for Innovation in Nordic regions*, Oslo, Nordic Innovation Centre (NICe).
- Latour, Bruno (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- Lundstrom, Marky Phillip Wong (2013). "Convergence Platforms: Foundational Science and Technology Tools", en *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Estados Unidos, National Science Foundation, pp. 133-171.
- MacGregor, Donald, Marietta Baba, Aude Oliva, Anne Collins McLaughlin, Walt Scacch, Brian Scassellati, Philip Rubin, Robert M. Mason y James R. Spohrer (2013). "Convergence Platforms: Human-Scale Convergence and the Quality of Life", en *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Estados Unidos, National Science Foundation, pp. 72-102.
- Mayr, Otto (1976). "The Science-Technology Relationship as a Historiographic Problem", *Technology and Culture*, vol. 17, núm. 4, pp. 663-673.
- McKelvey, Maureen, Luigi Orsenigo y Fabio Pammolli (2004). "Pharmaceuticals Analyzed through the Lens of a Sectoral Innovation System", en *Sectoral Systems of Innovation. Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sector in Europe*, Londres, Cambridge University Press, pp. 73-119.

- National Research Council (NCR) (2010). *Toward Sustainable Agricultural Systems in the 21st Century*, Washington, D. C., The National Academies Press.
- The Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2009). *The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda*, París, OECD.
- Robinson, Douglas (2015). "Distinguishing the Umbrella Promise of Converging Technology from the Dynamics of Technology Convergence", en *Knowing New Biotechnologies: Social Aspects of Technological Convergence*, Nueva York, Routledge, pp. 12-25.
- Roco, Mihail y William Bainbridge (2003). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Dordrecht, Springer.
- Roco, Mihail, William Bainbridge, Bruce Tonn y George Whitesides (2013). *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Estados Unidos, National Science Foundation.
- Sá, Creso y Merli Tamtik (2011). "Structural Genomics and the Organisation of Open Science", *Genomics, Society and Policy*, vol. 7, núm. 1, pp. 20-34.
- Schmidt, Jan (2008). "Towards a Philosophy of Interdisciplinarity. An Attempt to Provide a Classification and Clarification", *Poiesis Prax*, vol. 5, pp. 53-69.
- Schummer, Joachim (2004). "Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, and Patterns of Research Collaboration in Nanoscience and Nanotechnology", *Scientometrics*, vol. 59, núm. 3, pp. 425-466.
- Shmulewitz, Ascher, Robert Langer y John Patton (2006). "Convergence in Biomedical Technology", *Nature Biotechnology*, vol. 24, núm. 3, pp. 277-280.
- Statistics Canada (2005). *Biotechnology Use and Development Survey*, Science, Innovation and Electronic Information Division, Canadá, Statistics Canada.
- Sztulwark, Sebastián (2012). *Rentas de innovación en cadenas globales de producción*, Provincia de Buenos Aires, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Webber, David (1995). "The emerging Federalism of U.S. Biotechnology Policy", *Politics and the Life Sciences*, vol. 14, núm. 1, pp. 65-72.
- Wield, David, Joanna Chataway y Maurice Bolo (2010). "Issues in the Political Economy of Agricultural Biotechnology", *Journal of Agrarian Change*, vol. 10, núm. 3, pp. 342-366.

## II. La confluencia de las políticas públicas para el desarrollo industrial en la era de la convergencia

*Sergio Carrera Riva Palacio\**

### Introducción

La más poderosa creación de la mente humana —ciencia, tecnología y sociedad ética— debe ser el motor del progreso para transportar el mundo lejos del sufrimiento y del conflicto hacia la prosperidad y la armonía.  
ROCO, BAINBRIDGE y WHITESIDES

El constante crecimiento en México de las industrias electrónica, automotriz, de software y de instrumentos y equipos usualmente es presentado como la palpable evidencia de los efectos positivos de la apertura comercial y de inversiones ocurrida con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994 (SE, 2012).

En efecto, ha ocurrido una transformación de grandes proporciones en los procesos de producción y servicios asociados así como en la composición del comercio exterior mexicano. Sin embargo, este cambio no ha logrado traducirse en un aumento en el valor añadido local más allá del significativo incremento en los salarios de los sectores ganadores; la cantidad de innovaciones locales incorporadas en la producción de dichos

---

\* Doctor en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Director ejecutivo de Infotec, Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación.

artículos o bien en el desarrollo de productos locales en esos ramos es relativamente baja en relación con el total que se produce (o se integra) en México.

En otras palabras, los mexicanos hemos alcanzado niveles de manufactura global de excelencia para productos de alta tecnología sin prácticamente aportar innovación local a esa producción. Somos líderes mundiales en la producción de televisores y automóviles así como en otros productos de alta tecnología, pero no hay presencia de marcas mexicanas de esos productos, acaso una participación en el desarrollo de algunas partes que se integran en ellos.

En la perspectiva de las políticas públicas, en la primera fase de la apertura no solo a América del Norte sino también a la Unión Europea y a otros países americanos y asiáticos, el crecimiento de las manufacturas se apoyó por la vía de las negociaciones de reducción de aranceles, la promoción de la inversión extranjera y la desregulación de la actividad económica en general. Se dio énfasis a la eliminación de protección sectorial y a la creación de una serie de regulaciones —entonces más modernas—, como las prácticas comerciales internacionales, la legislación en materia de competencia económica y de protección al consumidor o las normas oficiales mexicanas y las normas mexicanas.

En una segunda etapa se incorporaron otros instrumentos, como las políticas de apoyo a las pequeñas empresas y a las mejoras para las industrias de alta tecnología, los estímulos fiscales a la investigación y desarrollo y, más recientemente, los apoyos a la innovación y el desarrollo de las capacidades científicas, tecnológicas y de experimentación.

A pesar de la creciente actividad en el diseño de políticas públicas y aun cuando México cuenta con acceso a mercados en condiciones privilegiadas, los resultados nos muestran una escasa participación en los primeros eslabones de las cadenas de suministro global; una gran experiencia y capacidad en manufactura, y una baja inversión local en investigación y desarrollo.

En contraste, en otras latitudes geográficas a lo largo del mismo periodo se aplicaron políticas diferentes que finalmente han decantado en el surgimiento de nuevos jugadores relevantes en la industria de alta tecnología, como las empresas originarias de Corea del Sur, Finlandia, Irlanda e Israel. Hoy esos países figuran entre los exportadores más importantes de tecnología.

Paralelamente a este proceso de apertura que modificó la forma de gestionar la manufactura a nivel global, en el mundo de la ciencia y la tecnología se generó una gran cantidad de innovaciones en los campos de la nanotecnología, la bioinformática y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) que fueron absorbidas por la industria de alta tecnología.

El progreso de la electrónica de consumo, el advenimiento de la era del internet, el avance en el uso de nuevos materiales más eficientes en el manejo del calor y de menor peso, pero mayor dureza, generó una gran cantidad de posibilidades para el rediseño y el surgimiento de nuevas familias de productos. En la época contemporánea prácticamente la totalidad de las innovaciones relevantes ha sido posible por la convergencia nanobioinformática.

La globalización favoreció el aprovechamiento de las ventajas competitivas de diferentes regiones para la integración de productos, así como para el rediseño de la cadena de suministros. Las empresas que desarrollaron su capacidad de síntesis del conocimiento disponible pudieron aprovechar la ventana de oportunidad que ofreció el desarrollo de las nuevas generaciones de bienes y servicios, y tuvieron la oportunidad de tomar las cuotas más importantes de valor gracias a sus innovaciones disruptivas.

El propósito de este trabajo es destacar la importancia de armonizar las políticas públicas que convergen para favorecer el desarrollo industrial moderno en México mediante la incorporación de mayor cantidad de productos derivados del aprovechamiento del talento en las industrias de alta tecnología y en la transformación a partir del incentivo a la formación de una base local de innovaciones surgidas de la convergencia de la ciencia y la tecnología.

En el primer apartado se ofrece un contexto general del impacto que tiene en el desarrollo industrial la convergencia del conocimiento científico, tecnológico y social y su acelerada dinámica.

En el segundo apartado presentamos una panorámica de los grandes cambios en la producción y en las exportaciones de México en las últimas dos décadas, así como una narrativa de las modificaciones en los procesos de producción y los cambios en las políticas de fomento industrial.

En el tercer apartado se ilustra, con el ejemplo de políticas exitosas aplicadas en cinco países, de qué manera el Estado ha tomado decisiones

de impulsar las industrias basadas en el conocimiento. En el cuarto apartado se presenta una reflexión de las políticas públicas modernas que deben considerarse para impulsar el desarrollo industrial basado en la convergencia científico-tecnológica. Finalmente, en el quinto apartado se ofrecen las conclusiones y algunas recomendaciones para potenciar los resultados de las políticas públicas orientadas al desarrollo industrial mexicano.

### **Influencia de la convergencia en el desarrollo de la industria en la era del conocimiento**

Podemos atrevernos a decir que enlazar conocimiento para resolver problemas o retos específicos y generar innovación es consustancial al ingenio humano; sin embargo, como lo señalan Lundstrom y Wong (2013: 1), más allá del avance mismo de la ciencia en sus campos de especialización, la convergencia denota un fenómeno de interacción entre las capacidades humanas y de las máquinas que ha hecho posible responder preguntas y resolver problemas que no pueden solventarse con capacidades aisladas, de modo que se crean nuevas competencias, tecnologías, productos y procesos para bien de la sociedad sobre esa nueva base.

Un ejemplo que nos ayuda a comprender este fenómeno lo ofrece la genómica, que deriva del interés de la biología por entender las características que determinan al ser vivo, entendimiento que ha sido posible mediante un enorme trabajo científico apoyado por la utilización de herramientas conceptuales y tecnológicas desarrolladas por la medicina, física, química, matemáticas e informática, entre otras disciplinas, y que en su desarrollo ha provocado el interés de filósofos y antropólogos sociales en este campo. Décadas de trabajo consolidaron un nuevo campo de estudio y arrojaron, entre otros productos de investigación, la secuenciación del genoma humano.

A nivel de manufactura industrial, en su libro *El dilema de los innovadores*, Christensen (1999) nos relata el enorme cambio provocado en esta área gracias al progreso del microprocesador. La producción electrónica cambió por completo y a su vez propició transformaciones en muchas otras industrias, como la de las comunicaciones, la informática, la automotriz y la aeronáutica; asimismo, actividades como el comercio, la logística, la práctica médica y la educación enfrentan nuevos paradigmas debido al progreso de hardware, software y las telecomunicaciones.

Internet propició una rápida disponibilidad de datos, información y conocimiento. El desarrollo de las tecnologías de la información (TI) y el uso de las matemáticas han generado condiciones que permiten desentrañar conocimiento a partir de datos que se acumulan en un instante y se interpretan en fracciones de segundo.

Estas posibilidades científico-tecnológicas ilustran de qué manera la convergencia ha favorecido la velocidad de circulación del conocimiento y sus muy diversas aplicaciones.

Las TIC parecen haber entrado en una etapa de madurez después de cincuenta años de investigación y desarrollo, y tienen la posibilidad de impactar aún más los procesos de producción y distribución.

En la medida en que estas tecnologías se difunden en todos los sectores económicos la productividad aumenta, de ahí que sea de interés la pronta apropiación de estas para favorecer la competitividad de las empresas y de la economía en su conjunto (Carrera, 2015).

Independientemente de los efectos negativos de las brechas de apropiamiento entre personas y organizaciones, lo cierto es que en general se tienen efectos favorables en la velocidad de la circulación de la información y el conocimiento. Piénsese en la transformación de los servicios de salud, las posibilidades de mejora en las intervenciones quirúrgicas y en la esperanza de vida, o bien, reflexionemos en la gestión moderna de inventarios y sus efectos en la reducción de la necesidad de capital de trabajo o en la gestión de servicios públicos para la movilidad y el transporte en las ciudades, los cuales tienen evidentes efectos en la calidad de vida y en la sustentabilidad.

Por otra parte, la mayor disponibilidad de la información y el conocimiento favorece el trabajo colegiado de equipos de científicos y tecnólogos en cualquier parte del mundo, de manera que se genera y se consume más conocimiento en tiempos cada vez más breves apoyados en el uso intensivo de la informática y las comunicaciones.

Es impresionante la cantidad de innovaciones que anualmente introducen al mercado la electrónica de consumo y la industria automotriz. Estas nos ofrecen evidencias de las nuevas convergencias científicas y tecnológicas que han ocurrido: las redes sociales alimentadas por la transferencia de datos referenciada geográficamente dan lugar a soluciones para una mejor gestión del tráfico; los *wearables* permiten el uso de los dispositivos móviles para sincronizarse con información generada por

el desempeño fisiológico del cuerpo humano al hacer ejercicio y obtener información básica para establecer un programa de mejora de la salud o para incrementar el rendimiento deportivo. Detrás de estas innovaciones hay convergencia de saberes e ideas que se han convertido en la creación de nuevos nichos de mercado.

A nivel industrial estos procesos de convergencia ocurren con frecuencia y han dado lugar, por ejemplo, a la automatización de líneas de producción mediante el uso de la robótica, el software para la gestión de la cadena de suministro y el manejo de la cadena de frío. Ahora hemos entrado en la fase de la llamada manufactura avanzada que nos permite acercarnos a la “personalización de la producción en masa”.

Mirando al futuro, los semiconductores nanoelectrónicos jugarán un rol crítico al enlazar la nanotecnología, la bioinformática, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas como uno de los retos de este siglo. La evidencia práctica que nos ofrece la Ley de Moore ha demostrado la velocidad de este cambio, lo cual se refuerza en la medida en que avanzan otros campos de la ciencia (Lundstrom y Wong, 2013: 34).

Hay que tener en cuenta que cada gran convergencia provoca una corriente de divergencia debido a la generación de nuevos espacios de conocimiento antes desconocidos o inexplorados a causa de las limitaciones cognitivas o tecnológicas.

El crecimiento de las capacidades de innovación en las empresas durante la mayor parte del siglo pasado descansó en el establecimiento de departamentos internos de investigación y desarrollo de las que, a la postre, fueron conocidas como las grandes multinacionales (Bell, IBM, Ford, HP, Merck, etc.). La protección por medio de patentes y secretos industriales, así como otras formas de protección de la propiedad industrial, fue clave para que creciera la industria; desde otra perspectiva, podríamos decir que se requirió de figuras monopólicas (las patentes) para proteger las innovaciones y generar el retorno “necesario” para auspiciar nuevas investigaciones que engendraran las siguientes generaciones de avance científico y tecnológico.

Sin embargo, con el transcurso de los años las condiciones que favorecieron ese modelo de explotación del conocimiento se modificaron de manera tal que, como lo señala Chesbrough (2006), se erosionaron las condiciones que favorecerían los modelos de innovación cerrada debido al aumento en la disponibilidad y movilidad de trabajadores con alta pre-

paración; el fortalecimiento de los mercados de capital de riesgo; la disponibilidad de opciones de ideas e innovaciones fuera del control directo de la empresa, y el incremento en la capacidad de proveedores externos.

Esas nuevas condiciones han reforzado la tendencia a incrementar la velocidad de circulación del conocimiento, pues ahora podemos observar la participación cada vez más activa de universidades y centros de investigación en el mundo a través de vinculaciones con las empresas, de tal suerte que resulta más factible concretar innovaciones que permitan llevar nuevos productos o servicios al mercado o resolver retos públicos relacionados con la seguridad, la salud y la sustentabilidad, entre otros.

No sorprende encontrar hoy pequeñas compañías que crean tecnología de nueva generación, que generan patentes y/o desarrollan productos en forma abierta en muy diversas partes del mundo, y la creciente inversión de las empresas en investigación y desarrollo, el incremento en el número de jóvenes matriculados en estudios superiores y de posgrado, así como el aumento de la movilidad laboral de los trabajadores.

El progreso científico y tecnológico, la globalización y la disponibilidad de talento en aumento configuran ahora un panorama diferente en el desarrollo de las industrias de alta tecnología. Aun cuando no se puede negar la importancia de disponer de capital para el desarrollo de productos, sí podemos señalar que en los ingredientes para una fórmula exitosa la innovación y la oportunidad hoy son más relevantes.

Las industrias han cambiado, la absorción del nuevo conocimiento convergente está generando nuevas familias de productos, nuevos nichos y oportunidades de mercado. Los países que aprovechan el talento, que cuentan con ecosistemas de innovación más maduros y acceso a capital de riesgo, tienen mayores posibilidades de éxito en esta nueva era. La política industrial es un vehículo para favorecer la creación de condiciones que permitan aprovechar esta oportunidad.

### **La base de manufactura avanzada en México**

La suscripción del TLCAN y posteriormente de los tratados comerciales con la Unión Europea y con Japón ofrecieron a México la oportunidad de ampliar el acceso a aquellos mercados y atraer una corriente de

inversión que a su vez facilitó la transformación de la planta productiva nacional (Contreras, 2004).

La industria automotriz, la electrónica, la de instrumentos y equipos y recientemente la de aeronáutica y la aeroespacial han dado cuenta del cambio en la base de manufactura.

El acceso a mercados con más facilidad capitalizó la ventaja comparativa geográfica y de recursos humanos en una mejor competitividad maquiladora y logística para la integración de los productos y su colocación en los mercados de destino.

Las exportaciones mexicanas al cierre de 2014 llegaron a totalizar 397 500 millones de dólares y las importaciones 399 900 millones de dólares. Esos montos significaron que la actividad exterior se multiplicó por siete y por cinco veces, respectivamente, en veinte años.

La participación de productos de alta tecnología en el total de las exportaciones ha sido creciente, lo que da cuenta de la transformación de la base industrial mexicana.

**Cuadro 1. Exportaciones de rubros seleccionados por sector económico respecto de las exportaciones manufactureras (porcentaje)**

Sector	2004	2009	2014
Agroindustrial	1.5	1.7	1.5
Farmacéutico	1.4	1.1	0.9
TIC	7.5	4.0	5.7
Electrónico	13.1	14.8	11.1
Automotriz	20.8	18.6	28.2
Aeroespacial	0.1	0.2	0.3
Exportaciones totales/PIB	26.2	27.3	32.7

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI. Banco de Información Económica. Disponible en <<http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>>, consultado el 20 de octubre de 2015.

La actividad de promoción de la inversión se dirigió especialmente a los sectores de alta tecnología. Las facilidades administrativas para la atracción de inversiones y las adecuaciones arancelarias para mantener las ventajas negociadas en los tratados de libre comercio denominados Programas de Promoción Sectorial (Prosec) permitieron retener y ampliar la base de manufactura.

El empleo en las industrias de alta tecnología creció en forma significativa propiciando una mejora en las percepciones promedio del asala-

riado mexicano; no obstante, esas industrias paulatinamente son menos demandantes de mano de obra.<sup>1</sup> Del total del empleo generado la mayoría se concentró en operadores de las líneas de producción y servicios asociados. Fueron pocas las empresas que movilizaron centros de diseño y de ingeniería hacia México; los casos más significativos se ubicaron en Jalisco, Querétaro, Puebla y Baja California.

**Cuadro 2. Personal ocupado de rubros seleccionados por sector económico respecto del empleo total en la manufactura (porcentaje)**

Sector	2004	2009	2014
Agroindustrial	4.6	4.1	3.7
Farmacéutico	1.4	1.7	1.6
TIC	2.0	2.4	1.7
Electrónico	4.2	4.3	4.2
Automotriz	11.9	11.0	14.2
Aeroespacial	0.1	0.2	0.5
En manufactura/empleo total	25.9	23.2	23.5

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI. Censos económicos. Disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default.aspx>>, consultado el 20 de octubre de 2015.

En consecuencia, la cantidad de valor añadido local que contienen las exportaciones mexicanas es relativamente bajo respecto del lugar que ocupa el país en la producción mundial.

En el caso de las industrias electrónica y automotriz, la llegada de las matrices provoca una onda expansiva que atrae a sus eslabones más directos y a ellos se engarzan algunos proveedores locales de partes y componentes así como de servicios.

Como se aprecia en el cuadro 3, en la industria automotriz se ha logrado una mayor integración de valor añadido en México, pero esta solamente alcanza poco más de 20%. Así, el país desarrolló capacidades de manufactura o maquila de alta tecnología, pero su participación en la innovación de esos productos ha sido más bien marginal.

<sup>1</sup> En las etapas iniciales de la apertura se registró un efecto muy favorable en industrias como la electrónica, lo cual generó una importante cantidad de empleos; sin embargo, la relocalización de inversiones hacia China a finales de la década de los noventa del siglo xx afectó sobre todo a las industrias relacionadas con los productos de consumo.

**Cuadro 3. Valor agregado de rubros seleccionados por sector económico respecto del valor agregado de las manufacturas (porcentaje)**

Sector	2004	2009	2014
Agroindustrial	10.4	9.5	12.5
Farmacéutico	5.1	4.7	1.9
TIC	1.4	1.5	0.8
Electrónico	3.5	2.5	2
Automotriz	16.9	14.4	20.9
Aeroespacial	0.1	0.2	4.1
Valor agregado manufacturas/PIB	28.4	27.9	29

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI. Censos económicos. Disponible en <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2014/default.aspx>>, consultado el 20 de octubre de 2015.

La concepción de los procesos de producción en los sectores industriales en la era de la globalización contempla un eslabón principal donde se diseña el producto y se establece su estrategia de desarrollo: es el eslabón de la multinacional que fija las reglas y que selecciona a los contratistas de manufactura, quienes están a cargo de la integración total o parcial del producto. Dichas empresas son responsables de seleccionar, supervisar y mantener la relación con los proveedores que se vincularán a la cadena de producción como eslabones de segundo y tercer nivel. También se encargan de integrar a los proveedores de servicio (empaques, logística, aduanas, etcétera).

**Cuadro 4. Empresas innovadoras del sector manufacturero, 2000-2007. (Número de empresas y participación porcentual de innovadoras)**

Año	Empresas manufactureras	Innovadoras de producto (%)	Lanzan al mercado innovaciones tecnológicas (%)
2007	8936	25.5	5.8
2005	9144	34.3	7.9
2000	8148	22.4	4.8

Fuente: INEGI (2011). Resultados de los módulos de innovación tecnológica MIT 2008, 2006 y 2001. Disponible en <[http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas/especiales/mit/MIT\\_2008\\_06\\_01.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas/especiales/mit/MIT_2008_06_01.pdf)>, consultado el 14 de enero de 2016.

La participación mexicana se ha dado en los eslabones que no tienen que ver con el diseño. Han ocurrido innovaciones incrementales a productos, pero muy escasa participación en el diseño de los productos ori-

ginales. En los casos en que se registra participación, esta básicamente se da por mexicanos que viven en los países de origen de la innovación y son colaboradores de las casas matrices de esos productos.

La participación de los mexicanos en esos equipos de desarrollo evidencia el talento existente y, al mismo tiempo, la falta de condiciones adecuadas para impulsar la innovación localmente.

De cualquier manera, no es despreciable la transformación de la base manufacturera que se ha logrado como consecuencia de la apertura económica. La vocación por el perfeccionamiento en los procesos productivos de excelencia ha merecido el reconocimiento prácticamente en todos los sectores de las capacidades de los ingenieros y técnicos mexicanos en materia de manufactura de alta calidad.

Sin embargo, la transferencia de conocimiento que se ha dado para desplegar esas capacidades de manufactura no se ha emparejado con un interés nacional por impulsar una estrategia de innovación que permita apoyar la creación de productos de nueva generación en los sectores de alta tecnología.

Durante muchos años el énfasis de los programas educativos de nivel superior estuvo enfocado a la generación de talento para participar en las grandes compañías y se desdibujó el incentivo para crear las propias y, sobre todo, el interés por cultivar el ingenio y la creatividad.

En México, el interés de los jóvenes por participar en el estudio de ciencias e ingenierías es muy bajo, lo que afecta las posibilidades de desarrollo de productos. Por su parte, la formación profesional a nivel de posgrado también es muy reducida, si bien se aprecia una tendencia creciente; en 2013 los graduados apenas sobrepasaron los 6900 maestros en ciencias y en ingenierías, mientras que cinco años antes se habían graduado poco más de 5800. Las cifras en doctorado presentan tendencias similares: 1400 graduados en 2013 y algunos más de 1000 en 2008.

Es multifactorial la explicación respecto de por qué hay tan pocos estudiantes en posgrado y tan baja atención a las oportunidades de desarrollo futuro dedicándose a las ciencias y a la tecnología. El país debe realizar un importante esfuerzo para mostrar a los jóvenes lo atractivo de este futuro, pero sobre todo debe remediar el sistema educativo, pues está lleno de obstáculos para acercar a los niños a las ciencias y al progreso tecnológico; no se cultiva la curiosidad científica ni se favorece el desarrollo de vocaciones en la materia.

**Cuadro 5. México: egresados de especialidades, maestrías y doctorados, 2008-2013**

Año	Especialidad		Maestría		Doctorado	
	Ciencias naturales y exactas	Ingeniería y tecnología	Ciencias naturales y exactas	Ingeniería y tecnología	Ciencias naturales y exactas	Ingeniería y tecnología
2008	151	1189	1769	4060	590	484
2009	110	1405	1582	4085	684	467
2010	80	1390	1750	4405	727	434
2011	277	661	1991	3458	630	407
2012	341	653	2530	4185	786	602
2013	350	672	2580	4349	844	560
Total	1309	5970	12 202	24 542	4261	2954

Fuente: INEGI. Actividades científicas y tecnológicas: recursos humanos. Disponible en <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=19007>>, consultado el 21 de septiembre de 2015.

**Cuadro 6. Formación de talento humano en áreas de convergencia (posgrados por ciclo escolar 2010-2011 y 2013-2014)**

Posgrado	2010-2011	2013-2014
Ciencias biomédicas	15	81
Genética	70	36
Ciencias	210	243
Física	91	58
Matemáticas	141	156
Biotecnología	131	119
Ingeniería eléctrica y electrónica	189	323
Ingeniería en ciencias nucleares	13	11
Ingeniería mecatrónica	71	78
Ingeniería mecánica	235	352

Fuente: Elaboración propia con base en datos de las ANUIES. Anuarios estadísticos de educación superior. Disponible en <<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>>, consultado el 23 de octubre de 2015.

Es preciso revertir estas condiciones, pues de otra forma el desarrollo de iniciativas empresariales en los ámbitos de la convergencia topará con una barrera natural: la falta de disponibilidad de talento. El resultado seguirá siendo empresas capaces de replicar prácticas y procesos, incluso sofisticados, y una débil vocación innovadora; así lo muestran los resultados de la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Esidet). Del total de las empresas encuestadas, solo una de cada ocho dice tener capacidad para desarrollar investigación y desarrollo, si bien hay sectores, como el de software, que presentan una mejor condición (una de cada cuatro), faltan condiciones para incrementar una actividad emprendedora basada en la innovación.

## II. La confluencia de las políticas públicas para el desarrollo industrial

México está dejando ir una gran oportunidad, pues la nueva base industrial de la que hoy se dispone está en los sectores que muestran con mayor claridad los resultados de la convergencia de ciencia y tecnología que hemos descrito anteriormente.

La inversión nacional en ciencia y tecnología es cercana a 0.6% del producto interno bruto —hace tres años era del orden de 0.46%— y está mayormente patrocinada por el gobierno, lo cual contrasta con las economías con las que compite el país y se encuentra muy por debajo de la estadounidense.

La evidencia internacional que ofrecen países asiáticos y europeos es que la inversión en ciencia y tecnología debe impulsarse de manera sostenida y con creciente participación del sector privado con el fin de disponer de capacidad de generar mayor valor agregado en el total de las exportaciones.

**Cuadro 7. Fuentes de financiamiento GIDE y PIB per cápita 2014 (porcentaje)**

País	GIDE/PIB	Fuentes de financiamiento de la IDE				PIB per cápita 2014 (dólares)
		Empresas	Gobierno	Otros	Total	
México	0.49	39.0	30.5	28.9	100	10326
EUA	2.81	69.8	12.3	13.8	100	54629
China	1.93	76.2	16.3	7.6	100	7590
Corea del Sur	4.36	77.9	12.5	9.5	100	27970
India	0.82	33.9	61.7	4.4	100	1582

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OCDE. Disponible en <http://stats.oecd.org/> y <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PC.AP.CD>, consultado el 14 de enero de 2016.

Notas: Los valores de la India, excepto el PIB per cápita, corresponden al año 2007.

Ahora bien, las recientes innovaciones que dieron lugar a la creación de *3D printing* y la llamada manufactura avanzada plantean un nuevo paradigma tecnológico para la fabricación que en los próximos años modificará los procesos en muchos sectores. Por ejemplo, la electrónica de consumo asociada a las comunicaciones podrá tener una modificación esencial, que desplazará la mano de obra sustituyéndola por las posibilidades de que el propio consumidor se involucre en la elaboración total o parcial de sus equipos.

No sorprenden en ese sentido las declaraciones en el Programa de Impulso a la Manufactura Avanzada elaborado por la administración

de los Estados Unidos de América en el sentido de que la política pública favorecerá el establecimiento de las nuevas plantas de producción de la alta tecnología cerca o dentro de los parques científicos de las universidades estadounidenses.

Las nuevas factorías requieren estar cerca de su “nuevo” insumo estratégico: el talento, mismo que se cultiva en esas universidades. Al formar parte de los espacios de investigación y de experimentación se facilita la colocación de incentivos para favorecer la innovación en las nuevas compañías auspiciadas por los fondos públicos o por sistemas como el Small Business Innovation Research (SBIR) y el Small Business Investment Companies (SBIC).

La velocidad de la circulación del conocimiento y la gran competencia en los campos emergentes han incentivado un mercado de compra de tecnologías en fases tempranas, de manera que las grandes compañías y los fondos de capital de riesgo hacen “apuestas” para adquirir tecnologías que se han creado recientemente.

Empresas que resisten las primeras etapas de venta como tecnologías en fase temprana han llegado a consolidarse como las nuevas promesas en el mundo de la alta tecnología, como es el caso de Facebook, Twitter, WhatsApp y Rovio Entertainment.

Las grandes empresas tecnológicas, por su parte, también desarrollan sus nuevas generaciones de producto, como es el caso del cómputo cognitivo impulsado por IBM, el auto sin tripulante de Google o la creación de nanopartículas para destruir células cancerosas.

En el caso mexicano, a pesar de que grandes empresas han desplegado iniciativas para desarrollar las capacidades locales de mejoramiento, poco puede esperarse por esa vía, pues es casuística, no corresponde a una política general que fomente el desarrollo de capacidades en la materia. Quizá de los casos que mejor ilustran las capacidades nacionales para gestar nuevos productos sean los que nos ofrecen las compañías creadoras de aviones no tripulados y drones. También se tienen indicios en la producción de instrumentos y herramientas o en la generación de nuevos fármacos.

A pesar de la valía de esas compañías, sus casos únicamente nos confirman las posibilidades del talento mexicano, y sus historias solo están parcialmente asociadas a un esfuerzo público sistémico de apoyo a la generación de innovación y de productos de alta tecnología.

En la década de los años noventa las decisiones de política de desarrollo se orientaron predominantemente por la política comercial bajo los principios de eliminar barreras al comercio y favorecer los flujos de inversión. Se aprovechaban las ventajas comparativas de México y se procuraba el desarrollo de ventajas competitivas en materia de maquila e integración de productos. Las estrategias de apertura y de reducción de la intervención del Estado en la economía favorecieron el crecimiento de los llamados sectores ganadores que hemos señalado anteriormente.

Hacia el inicio del presente siglo XXI, y ya con plena vigencia de la política aperturista, el nuevo gobierno intentó la aplicación de acciones correctivas para contener el impacto directo que el ingreso de China a la Organización Mundial de Comercio (OMC) tenía sobre sectores de manufactura tradicional (textil, calzado, herramientas).

Aparecieron nuevos intentos de política industrial para impulsar la renovación de la base productiva, especialmente en la pequeña y mediana industrias. Los efectos de dichas políticas fueron muy limitados; esos sectores se fueron desmantelando gradualmente; años después han resurgido en algunos nichos, a partir del aprovechamiento de las nuevas tecnologías, el desarrollo de una otra corriente de diseñadores y de los cambios en los procesos de manufactura.

Sin embargo, no se articuló una política industrial que favoreciera la creación de empresas orientadas a aprovechar las oportunidades de desarrollo manufacturero que en el mundo se dibujaban. Peor aún, en nuestro país se resintieron los efectos de una relocalización global de los contratistas de manufactura que establecieron sus plantas maquiladoras en China tomando ventaja de los incentivos que ofrecieron.

Los estados de Jalisco, Baja California, Tamaulipas y Chihuahua resintieron especialmente los efectos de dicha deslocalización. Las medidas políticas fueron dirigidas a mitigar los efectos de la agresiva presencia asiática en los mercados estadounidenses.

Quizá el caso del Programa de Desarrollo de la Industria del Software y Servicios Relacionados (Prosoft) —elaborado en su primera edición en 2002— fue el único que pudo registrar el avance en una oportunidad que ofrecía el mundo al inicio del milenio. Se trataba de un sector clasificado dentro del ramo de los servicios y con alto componente de investigación y desarrollo, por lo que los incentivos y medidas para su crecimiento no se contraponían con los acuerdos firmados por México con otros países.

La iniciativa de desarrollo de software y servicios desde México ha permanecido por más de diez años y entre sus resultados relevantes está el creciente volumen de exportaciones de servicios, el aumento del empleo y una tendencia al incremento en la innovación en las empresas dedicadas a este sector

En 2013 la Secretaría de Economía preparó el Programa de Desarrollo Innovador (Prodein), el cual sintetiza el proyecto de esta administración para impulsar el crecimiento de las iniciativas empresariales a partir de un mayor componente de innovación y señala la importancia de articular un esfuerzo de política industrial para los sectores emergentes, si bien todavía no logra articular una estrategia de desarrollo más allá del caso del software y un incipiente programa de apoyo a la biotecnología con estímulos del Fondo Sectorial de Innovación Secretaría de Economía-Conacyt (Finnova).

Por su parte, las políticas para el desarrollo industrial pretenden impulsar la adopción de las TI en el proceso productivo en todos los sectores de la economía y favorecer el desarrollo de la innovación, así como fomentar la economía del conocimiento. También se ha planteado revisar las oportunidades de negocio a la luz de la reconfiguración de bloques comerciales y se ha puesto especial interés en la comunidad económica que se está conformando en el Pacífico (TPP).

Se creó el Instituto Nacional del Emprendedor para mejorar la administración de la política de estímulos a la labor emprendedora, incrementar la disponibilidad de iniciativas de capital semilla y de riesgo, enriquecer las prácticas de manufactura, etc.; estos esfuerzos están en etapas tempranas, pero sigue llamando la atención el rol de seguidor que ha tomado la banca de desarrollo desde hace treinta años con una muy débil vocación de toma de riesgo para el impulso de las nuevas generaciones de industria, especialmente de las que son producto de la convergencia.

Por su parte, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha coordinado la emisión de la tercera edición del Programa Especial de Ciencia y Tecnología, que tiene la particularidad de incentivar mediante apoyos directos el incremento de la inversión privada en ciencia y tecnología a través de diferentes instrumentos, como el Programa de Estímulos a la Innovación en sus tres categorías; el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (Fordecyt) y las Agendas Estatales de Desarrollo Científico y Tecnológico.

El Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (Peciti) 2014-2018 presenta iniciativas para favorecer la convergencia de las acciones de política pública con los diferentes programas sectoriales que se elaboraron en la administración pública, como los Programas de Desarrollo Innovador, de Energía, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, entre otros. En el Peciti se establecen como temas prioritarios diferentes campos de trabajo, resultado de la convergencia de ciencia y tecnología, como es el caso de la biotecnología, la manufactura avanzada, la genómica, la nanotecnología y las tecnologías de la información.

Por su parte, en diversos programas sectoriales se ha reconocido por sí misma la importancia de dar atención a estos campos de convergencia por su potencial para aportar soluciones innovadoras a los retos nacionales.

No obstante, se aprecia una debilidad en la estrategia. No hay un señalamiento específico que revele de qué manera se puede acelerar. En el desarrollo de estas capacidades locales de innovación, el tratamiento propuesto es equivalente al del resto de las actividades, por lo que si bien se tiene un acierto en reconocer su importancia, no se perfila una estrategia diferenciada que haga sinergia entre las diferentes políticas públicas para impulsar el surgimiento de productos, procesos y servicios de cuño local con capacidad de exportación en esas materias.

De manera implícita, los resultados que ha arrojado el Programa de Estímulos a la Innovación nos hablan del potencial en diferentes campos. Las tecnologías de la información y la biotecnología son los temas dominantes en las convocatorias anuales que ha realizado el programa.

En suma, se percibe un cambio en la orientación de la política pública para favorecer la innovación y aprovechar los resultados de la convergencia en la solución de los retos y necesidades nacionales, porque pretende estimular la absorción de tecnología e impulsar la investigación y el desarrollo en áreas convergentes. Se presentan rasgos de alineamiento entre las políticas industrial y de ciencia y tecnología, así como de otros instrumentos sectoriales y regionales.

No obstante, la potencia de estos mecanismos es relativamente baja, partiendo de la base de que la inversión en ciencia y tecnología dista mucho de la que se registra en los países que se encuentran en la avanzada; es escasa si se considera que la política industrial todavía es muy genérica y no queda claro el interés de desarrollo de capacidades locales de

innovación más allá de estrategias declaradas y de limitados recursos para el despliegue de los programas de formación de capacidades.

## **Referencias internacionales de impulso a las industrias de la convergencia a partir de la confluencia de políticas públicas**

Los marcos de política económica que en el transcurso de las últimas décadas han aplicado en particular algunos países, generan espacios para estar en condiciones de “subirse a la ola” de las nuevas áreas convergentes. Aquí veremos cinco casos: Corea del Sur, China, la India, Irlanda y los Estados Unidos de América.

### Corea del Sur

A partir de la década de los años sesenta del siglo pasado, Corea del Sur ha sostenido un esfuerzo de desarrollo industrial organizado en planes quinquenales que le han permitido desplegar capacidades locales de industrias clave ofreciendo protección temporal para la generación de fortaleza que les permita competir internacionalmente en los sectores seleccionados.

Si bien la estrategia de desarrollo ha convivido con multinacionales, se ha centrado en el impulso a los grandes grupos industriales locales (*chaebol*), y estos han sido responsables del mejoramiento de los niveles locales de proveeduría.

El financiamiento ha procedido fundamentalmente de una disciplina de ahorro interno y de los incentivos a la investigación y al desarrollo local. En los últimos veinte años la participación del sector privado ha continuado su crecimiento hasta alcanzar 2.8% del PIB, que sumado al 0.5% del PIB que aporta el sector público, les ha permitido alcanzar uno de los niveles más elevados de inversión en la materia entre los países miembros de la Organización para el Crecimiento y el Desarrollo Económicos (OCDE).

La atención del gobierno coreano y de la sociedad en la importancia de la formación de talento local ha sido muy alta, lo que les ha permitido disponer de un sistema educativo muy competitivo, con universidades

de clase mundial y centros de investigación patrocinados por la industria con alta capacidad de innovación.

Corea del Sur evidencia un caso donde la apuesta por la emulación para incrementar capacidades locales de innovación ha permitido disponer de una industria automotriz, electrónica, de instrumentos, de bio y nanotecnología fuertes e implicados en el desarrollo de las nuevas generaciones de productos para el mundo.

## China

El gigante asiático tiene una tradición de planificación desde mediados del siglo pasado. Al negociar el restablecimiento de sus relaciones con los Estados Unidos de América desarrollaron sus capacidades de maquila y a partir de ellas la imitación de productos. La política arancelaria estuvo orientada a proteger sus sectores clave, a la atracción de inversión para desarrollar esas capacidades y hacia una política de acercamiento con la Organización Mundial de Comercio para lograr su aceptación en el mundo occidental.

Para el desarrollo de sus capacidades de investigación y experimentación utilizó el poder de compra gubernamental. Más recientemente, publicó el Plan Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico a Medio y Largo Plazo (2006-2020). Para el logro de los objetivos del Plan en el año 2020 se establece el requerimiento de que la aportación presupuestaria en I+D aumente hasta situarse en 2.5% del PIB, y que el sector científico y tecnológico represente una tasa de contribución a la economía superior a 60 por ciento.

Las directrices establecidas en el plan en materia de ciencia y tecnología son básicamente la innovación independiente, el apoyo al desarrollo y el liderazgo del futuro. Dentro de los objetivos del plan destacan los siguientes:

- La posesión de la tecnología clave en las industrias nacionales de la información y de la fabricación de equipamientos, y su posicionamiento en la vanguardia mundial.
- La preparación de un equipo de investigadores y científicos de calidad mundialmente reconocida y la obtención de una serie de logros

en innovación que repercutan en las corrientes principales del desarrollo científico.

- Posicionar la tecnología avanzada en campos como la información, la biología, los materiales y la aeronáutica en la vanguardia mundial.
- La construcción de organizaciones para I+D de renombre mundial, como institutos de investigación científica, universidades y empresas con competitividad a nivel internacional, que conformen un sistema nacional de innovación.

## India

A lo largo de treinta años la India ha otorgado incentivos fiscales, creado instituciones de educación, apoyado el desarrollo de talento en universidades extranjeras a través de cultivar un efecto de diáspora para la generación posterior de sus nuevas empresas. La política de atracción de inversión de multinacionales en los sectores de las tecnologías de la información y la biotecnología no descuidó la importancia de impulsar la creación y evolución de grandes corporativos locales como Wipro, Tata e Infosys.

Un aspecto fundamental que se debe considerar es el de formación de profesionales con habilidades específicas en TIC para el soporte que se requiere. Este factor ha sido crucial para el crecimiento de la industria de software de la India. Arora y Bagde (2010) estudian el efecto de la oferta de ingenieros en el crecimiento de las exportaciones de esta industria en el periodo 1990-2003. Para ello, consideran la capacidad profesional en esta disciplina en las regiones de estudio controlando las demás variables relevantes. Los resultados de la investigación de los autores mencionados reflejan un efecto significativo entre esta llamada capacidad de contar con un número significativo de ingenieros y el crecimiento de las exportaciones de software.

En relación con la última década, la economía de la India ha registrado un crecimiento sobresaliente desde 2003. La tasa de crecimiento media anual del PIB fue de 8.1% entre 2003 y 2006. Esta no solo ha sido muy superior a la del trienio anterior (5.4%), sino que fue la segunda mayor del mundo tras la de China. Eso ha sido resultado de una visión de gobierno enfocada a aprovechar el potencial de las tecnologías

de propósito general a través de políticas industriales, que han sido así una herramienta utilizada por el gobierno de la India para favorecer el desarrollo de su economía y para convertirse en oferente de servicios de TI a nivel global.

## Irlanda

Este país enfrentó serios problemas en la década de los setenta del siglo pasado, al grado de que se registraba una emigración continua de su población con mayor preparación educativa. Crone (2002) estima que una tercera parte de los profesionales irlandeses dejaba su país de manera permanente cada año. También se registró una elevada tasa de desempleo combinada con una reducción de la población.

Con el fin de revertir estas tendencias, el gobierno aplicó políticas para atraer multinacionales en los sectores de alta tecnología mediante incentivos fiscales y una promoción agresiva de las ventajas de invertir en Irlanda: fuerza de trabajo calificada, facilidad de acceso a los mercados europeos y costos de telecomunicaciones menores que los prevalentes en el continente europeo. No obstante, después de veinte años no se produjo el resultado esperado, pues los irlandeses empleados por las multinacionales no eran los más talentosos ni innovadores, y el porcentaje de contrataciones de programadores de alto nivel era muy bajo (Tessler *et al.*, 2003).

La contribución de las empresas multinacionales para el crecimiento de la industria de Irlanda consistió en proporcionar lo que Tessler *et al.* (2003) llaman el “hábitat”, ya que la ubicación de estas corporaciones en Dublín propició una migración de profesionales de alta tecnología tanto nacionales como extranjeros hacia esta región.

En cuanto a valor, Irlanda es el exportador líder tanto en términos relativos como en proporción del PIB. Sus exportaciones de software y servicios se han quintuplicado entre 2000 y 2010, al pasar de 7 a 37 billones de dólares, y parecen no haber sido afectadas significativamente por la crisis financiera global. Así, en 2010 dichas exportaciones y servicios representaron 16% del PIB de Irlanda.

Irlanda se ha caracterizado en desarrollo y crecimiento por la aplicación de acciones efectivas para atraer inversión extranjera, promover el

emprendimiento local y la creación de clústeres, así como el fomento al desarrollo de un sistema nacional de innovación con la activa participación de las universidades y centros de investigación irlandeses.

## Estados Unidos de América

A pesar de sus consignas respecto a la libertad de mercado y de que explícitamente señala que sus acciones no deben ser consideradas como política industrial, Estados Unidos de América (EUA) ha utilizado por décadas las políticas de ciencia y tecnología, así como de compras gubernamentales, para impulsar el desarrollo de nuevas industrias, y ahora se prepara a empujar las industrias convergentes con base en iniciativas de facilitación para el establecimiento de empresas de nueva generación en los parques científicos de las universidades.

EUA ha desplegado desde la posguerra una política de atracción de talento para incentivar su capacidad científica y tecnológica. La guerra y el comercio han sido claves para la generación de innovaciones que se trasladan posteriormente a los ámbitos de la vida cotidiana. En épocas recientes la salud y la sustentabilidad han tomado creciente atención debido a las presiones financieras que se tienen para sostener el modelo de desarrollo estadounidense.

La iniciativa Advanced Manufacturing Partnership, del presidente Obama, es la expresión de un programa de política industrial que plantea la necesidad de alinear políticas para crear las condiciones de aprovechamiento de la oportunidad de participar en la nueva economía, así como incentivos para impulsar la manufactura avanzada y retenerla en ese país.

La Oficina del Consejo de Asesores en Ciencia y Tecnología de la Presidencia tiene una importante influencia en la política gubernamental de los Estados Unidos de América. En su informe ejecutivo de agosto de 2015 identificó los aspectos que esta oficina considera de alta importancia. Ahí subraya la relevancia de las TI por su alto espectro en los ocho temas prioritarios: ciberseguridad, TI y salud, Big Data, TI y mundo físico, protección de la privacidad, sistemas ciberhumanos, computación de gran capacidad e investigación de TI en las organizaciones.

En el informe se señala también que la investigación debe ser interdisciplinaria por sus requerimientos no solo cada vez mayores, sino porque la diversidad de temas va en aumento y por consiguiente con investigadores que puedan crear y liderar materias de investigación multidisciplinaria.

Se reconoce que el crecimiento del conocimiento en ciertas áreas amplía a su vez la aplicabilidad del mismo, y que por consiguiente la demanda de trabajadores en tales campos se incrementa a una mayor velocidad de la que el sistema educativo puede preparar trabajadores, de ahí la importancia de aplicar políticas públicas para acompasar el desarrollo de talento con el impulso a empresas innovadoras.

Dentro de las preocupaciones públicas del gobierno de los EUA está por ejemplo el interés en el desarrollo de tecnologías en la frontera de los temas que competen a TI y a salud, lo cual incluye cada vez más el uso de dispositivos móviles y tecnologías biométricas que puedan monitorear y asesorar a los pacientes, pues cada vez más estos aparatos potencian las capacidades humanas físicas e intelectuales y facilitan el desarrollo de nuevos métodos que mejoran diagnósticos de predicción y de atención de enfermedades.

La investigación de nuevos métodos es una actividad continua. Otro objetivo que Estados Unidos de América apoya en la prevención y atención de enfermedades es el descubrimiento de cada vez mejores formas para reducir la complejidad de los datos y proporcionar decisiones operativas de soporte para médicos, pacientes y administradores en el cuidado de la salud.

Asimismo, se está llevando a cabo una evolución acelerada de la investigación y oportunidades comerciales en sistemas que unan tecnologías inteligentes de percepción y de actuación del internet de las cosas, con los desarrollos en la robótica. Por tanto, la investigación en robótica, inteligencia artificial, sistemas ciberespaciales y áreas relacionadas conducirán a una innovación tanto en TI básica como en el desarrollo de sistemas autónomos robustos y confiables.

En el reporte *A Strategy for American Innovation: Driving towards Sustainable Growth and Quality Jobs* (The White House, 2015), el gobierno estadounidense informa que ha priorizado investigaciones en I+D en áreas que tienen potencial para convertirse en industrias del futuro y tener un impacto transformador en la economía y en la población, como son:

- Iniciativa Nacional de Nanotecnología. Ejemplos de aplicaciones potenciales que incluyen terapias inteligentes contra el cáncer que pueden destruir tumores sin dañar células sanas.
- Iniciativa de nuevos procesamientos de manufactura para obtener nuevos materiales con una reducción de costos de al menos 50 por ciento.
- Iniciativa Nacional de Robótica, que busca acelerar el desarrollo y uso de “co-robots”, los cuales pueden trabajar en forma colaborativa con las personas. Su uso no solo es para la industria, sino en situaciones de desastre y otros tipos de tareas de gran peligro para humanos.
- Investigación en Big Data para mejorar la habilidad de obtener información confiable.
- Un creciente número de investigadores están desarrollando las herramientas y entendimiento de sistemas requeridos para sistemas de ingeniería biológica.

Estos casos ejemplifican cómo la política pública confluye mediante iniciativas de ciencia y tecnología, compras gubernamentales y fomento a la pequeña empresa para resolver dilemas de interés que afectarán el futuro inmediato y a mediano plazo de la nación americana.

El gobierno federal y los gobiernos locales, en coordinación con las universidades, han tomado parte activa porque reconocen la necesidad de “hacer algo más” que lo que el mercado provee para resolver estas presiones y mantener el liderazgo mundial.

### **Cómo propiciar la confluencia de la política pública para aprovechar la convergencia**

La política industrial es un instrumento del Estado para propiciar la generación de condiciones que modifiquen la trayectoria del desarrollo de la industria en una región o país determinado, una selección consciente de sectores y actividades para sostener o desarrollar nuevas opciones de generación de valor añadido en una economía; dicha selección puede hacerse en coordinación y cooperación estratégica entre los sectores público y privado.

Reinert (2009), revisando a Werner Sombart, nos recuerda que los países que hoy conocemos como industrializados pusieron atención en

el impulso del emprendedor, en el desarrollo de un Estado moderno que alinea intereses sociales y de emprendedores y el incentivo al progreso tecnológico mediante innovaciones que favorecieran la creación de economías de escala y sinergias que apoyaran el surgimiento de sistemas de innovación nacional.

Esos elementos siguen vigentes en el desarrollo de la llamada nueva economía o economía del conocimiento. El alineamiento de los incentivos es fundamental para favorecer el tránsito del conocimiento científico al mercado, así como de la incorporación de novedades tecnológicas a procesos y productos.

Naturalmente, es preciso favorecer el acceso a los mercados de capital y a los de bienes y servicios, así como lograr condiciones de adecuada flexibilidad en los mercados de trabajo.

Podríamos decir que México avanzó en lo relativo al acceso a mercados de bienes y servicios, y recientemente ha promovido una reforma laboral para dar flexibilidad a los mercados de trabajo; sin embargo, aún le resta mucho por hacer en materia de acceso a los mercados de capital, a los estímulos al emprendimiento y al alineamiento de las políticas para favorecer el desarrollo de los sistemas locales de innovación.

En el ámbito federal, las experiencias de los países que hemos referido nos muestran la necesidad de alinear los diferentes vectores que representan las políticas fiscal, de desarrollo industrial, de ciencia y tecnología, de comercio exterior, la educativa y la de compras gubernamentales, con el objeto de generar una resultante más poderosa.

El alineamiento de políticas es un antídoto para la escasez relativa de recursos de la hacienda pública. El gobierno debe enfrentar diversos dilemas que presionan su presupuesto; la estrategia seguida en otros países es el establecimiento de políticas para resolver dilemas nacionales y enfocar el esfuerzo público y concitar a la inversión privada para procurar su solución haciendo buenos negocios.

Esta alineación favorece la innovación local y estimula la atracción de inversión en investigación y desarrollo. A estas iniciativas también pueden sumarse —o plantear las propias— los gobiernos locales.

De hecho, si bien es muy difundida la visión de trabajar bajo un modelo de triple hélice, es preciso reconocer que dicho modelo debe registrar ya los ajustes derivados de respetar la soberanía de los gobiernos locales y el surgimiento de poderosas iniciativas sociales representadas

por organizaciones no gubernamentales que influyen cada vez en mayor medida en la calidad de vida, la sustentabilidad y la atracción de talento.

Esto es, un alineamiento adecuado de las políticas públicas para favorecer el crecimiento de la nueva generación de industrias debe considerar las cinco hélices que propulsan el desarrollo hoy en día: academia, empresa, gobierno federal, gobierno local y organizaciones de la sociedad civil.

El esfuerzo de coordinación de políticas debe contemplar la concertación con el sector social y privado. El gobierno debe invertir en esquemas de gobernanza que reconozcan la necesaria participación de los diferentes actores implicados. No se trata de una toma de nota en la elaboración de planes y programas, se requiere de la activa participación en el desahogo de la estrategia, en el seguimiento y en la evaluación de los resultados de la política.

Esta es una tarea que debe hacerse con una visión de largo plazo, si bien se entiende que las normas jurídicas establecen límites a las obligaciones transexenales.

El interés de la cooperación científica nos ha demostrado que es posible superar barreras que se suponen infranqueables. Los casos del bosón de Higgs; los experimentos en el laboratorio espacial ruso-americano; el desciframiento del genoma humano o el proyecto del mapa del cerebro humano, son palpables evidencias de cómo se superan barreras jurídicas y hasta políticas para lograr el progreso científico y tecnológico.

Utilizar nuestros retos fundamentales asociados a la pobreza, el envejecimiento de la población, la obesidad, la sustentabilidad, la eficiencia energética, entre otros, para anclar el desarrollo de la ciencia y la tecnología, así como para impulsar el crecimiento de industrias con alto contenido de innovación local, representa una oportunidad en la que el reto mayor no será la disponibilidad de recursos, sino la reformulación de las estrategias, programas, lineamientos y métricas con base en las cuales se asignarán los recursos para resolver los retos nacionales.

De igual manera, la oportunidad que representa disponer de una base de manufactura de alta tecnología como la que se localiza en nuestro país debe dar lugar al establecimiento de políticas de desarrollo industrial que se enfoquen, más que en la participación de las generaciones actuales de producto que se manufacturarán los próximos cinco años, en

desarrollar las capacidades de innovación para las siguientes generaciones de productos en esas ramas industriales.

Será preciso poner atención en incentivar la formación de talento en los nuevos campos surgidos por la convergencia nano-bio-informática e impulsar sistemáticamente a los emprendedores y a la banca de desarrollo a tomar riesgos en iniciativas empresariales en esos campos para participar con mayor relevancia en la gestación de valor añadido local en esas industrias u otras conexas que tomen fuerza en los años por venir.

## Conclusiones y recomendaciones

La convergencia de ciencias y tecnologías plantea un paradigma nuevo en la velocidad de generación y circulación de conocimiento. Los esquemas de ciencia, acceso e innovación abiertos fortalecen esa dinámica, la cual se desarrolla con una perspectiva global.

Si bien los esquemas de protección de la propiedad industrial seguirán teniendo relevancia para hacer llegar las innovaciones al mercado, poco a poco los modelos alternativos van ganando importancia en el desarrollo empresarial.

Los gobiernos están llamados a hacer algo más que la apertura de sus mercados y a favorecer el flujo de las corrientes de inversión. El conocimiento como activo intangible está siendo empleado con mayor intensidad en el desarrollo de soluciones de mercado y de los retos públicos. Los países que propician un mejor alineamiento de las políticas públicas para impulsar su industria y mejorar el bienestar han tenido importantes resultados que no se limitan a un mejor desempeño de la economía local, sino que buscan conquistar nuevos mercados más allá de sus fronteras.

Corea del Sur, Irlanda, China y la India nos ofrecen un catálogo diferente de intervenciones, acordes con su estructura jurídica y comercial. Pero aun en casos como el de Estados Unidos de América, tan reacio a declarar la necesidad de intervenir en el desarrollo de los mercados, se ha dispuesto el despliegue de programas e iniciativas para acelerar la difusión de los avances científicos y tecnológicos, consciente de que un mayor retraso en la materia podrá afectar severamente su competitividad.

El gobierno mexicano ha impulsado políticas públicas para acrecentar la innovación local como el Prosoft, el Prodein, el Peciti, entre otros,

pero aún se encuentra en etapas incipientes de la llamada economía del conocimiento. Son encomiables los esfuerzos de las instituciones que los encabezan, pero se requiere mayor agresividad para alcanzar una mejor cuota de valor agregado derivado del conocimiento, se precisa de modificar algunos marcos normativos y reglas presupuestales y fiscales para lograr resultados más impactantes.

El programa especial de ciencia y tecnología nos ofrece una perspectiva a 25 años que parte de la base de impulsar la inversión en I+D a nivel de 1% en 2018. Se requiere más; pero independientemente del monto, lo relevante es que los instrumentos deben alinearse en torno a la solución de retos nacionales seleccionados por nuestras necesidades más apremiantes o por las oportunidades de mercado que nos ofrecen los enclaves industriales en los que participamos.

Se deben alinear las políticas fiscal (presupuesto y estímulos fiscales), de compras gubernamentales, de formación de talento en niveles técnico, superior y de posgrado, de financiamiento al desarrollo, de desarrollo industrial y de fomento a la ciencia y tecnología.

Proyectos de este tipo deben ser evaluados con frecuencia y requieren mecanismos transparentes de asignación, pero igual que se ha hecho en otras latitudes, no es conveniente condicionarlos a una lógica presupuestal de base anual, pues las asignaciones resultantes son subóptimas, la burocracia se incrementa y se desarrollan incentivos perversos que propician el surgimiento de nuevos rentistas en busca de fondos para sostener iniciativas empresariales de dudosa factibilidad.

En materia de ciencia y tecnología —obviamente en el caso de los campos de frontera científica y tecnológica— es preciso asumir el riesgo. Las reglas de los diferentes apoyos gubernamentales son tímidas al respecto; evidentemente, la participación privada es aún más cautelosa.

Es preciso impulsar el interés de la sociedad y especialmente de niños y jóvenes por cultivar su curiosidad científica y el manejo de otros idiomas, particularmente el inglés. Conviene el establecimiento de un programa de detección de talentos en las escuelas públicas, así como un paquete de apoyos para mantenerlos apegados a su actividad escolar.

También es necesario reconocer explícitamente un modelo de cinco hélices para alinear de mejor manera los incentivos para la retención y atracción de talento e inversión, dando lugar a las ciudades y a las orga-

nizaciones no gubernamentales interesadas en el desarrollo de las nuevas tecnologías y en aportar soluciones con base en ellas.

La historia muestra que en todos los casos en los que se ha logrado el éxito en las estrategias de *catching up* el Estado ha jugado un rol proactivo. La velocidad de la adopción de las nuevas tecnologías tiene impacto en la competitividad; el desfase en el apropiamiento incide directamente en ella.

La política industrial es una herramienta que debe utilizar el Estado para impulsar el incremento de la productividad y detonar un sinnúmero de innovaciones que permitan la renovación industrial y la creación de nuevos sectores económicos. Alinear actores y programas; impulsar las convergencias; prospectar a largo plazo; asumir el riesgo, y ejecutar con velocidad, son un imperativo, nadie nos va a esperar.

## Referencias

- Arora, Ashish y Surendra Bagde (2010). "Human Capital and the Indian Software Industry", [en línea], *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 16167, julio, pp. 1-35. Disponible en <<http://www.nber.org/papers/w16167>>, consultado el 6 de mayo de 2015.
- Carrera, Sergio (2015). *La necesidad de políticas industriales en la economía moderna: el caso del fomento a la industria de tecnologías de información en México*, tesis de doctorado no publicada, México, UNAM.
- Chesbrough, Henry William (2006). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Boston, Massachusetts, Harvard Business School Press.
- Christensen, Clayton M. (1999). *El dilema de los innovadores*, Argentina, Granica.
- Contreras, Óscar F. (2004). *Economía digital e industrias emergentes en México: el caso del software y los servicios informáticos*, [en línea]. Disponible en <<http://www.colson.edu.mx:8080/portales/docs/software.pdf>>, consultado el 11 de enero de 2016.
- Crone, Mike (2002). *A Profile of the Irish Software Industry*, [en línea], Reporte no publicado. Disponible en <<http://www.qub.ac.uk/nierc>>, consultado el 15 de agosto de 2013.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2012). *Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico 2012 (Esidet)*, [en línea]. Disponible en

- <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/esidet/default.aspx>>, consultado el 2 de enero de 2016.
- Lundstrom, Mark y H. S. Philip Wong (2013). "Convergence Platforms: Foundational Science and Technology Tools", en Mihail Roco *et al.* (eds.), *Convergence of Knowledge, Technology and Society*, Suiza, Springer International Publishing, pp. 1-52.
- Reinert, Erik (2009). "Emulation Versus Comparative Advantage: Competing and Complementary Principles in the History of Economic Policy", en Mario Cimoli, Giovanni Dossi y Joseph E. Stiglitz (eds.), *Industrial Policy and Development. The Political Economy of Capabilities Accumulation*, Nueva York, Oxford University Press, pp. 79-102.
- Secretaría de Economía (SE) (2012). *Monografía: Industria Electrónica en México*, [en línea]. Disponible en <[http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/monografia\\_industria\\_electronica\\_Oct2012.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/monografia_industria_electronica_Oct2012.pdf)>, consultado el 11 de enero de 2016.
- Tessler, Shirley, Avron Barr y Nagy Hanna (2003). *National Software Industry Development: Considerations for Government Planners*, [en línea]. Disponible en <<http://www.ejisdc.org/ojs2/index.php/ejisdc/article/viewFile/84/84>>, consultado el 15 de junio de 2012.
- The White House (2015). *A Strategy for American Innovation: Driving Towards Sustainable Growth and Quality Jobs*, [en línea]. Disponible en <[https://www.whitehouse.gov/assets/documents/innovation\\_three-pager\\_9-20-09.pdf](https://www.whitehouse.gov/assets/documents/innovation_three-pager_9-20-09.pdf)>, consultado el 14 de enero de 2016.

### III. La transferencia tecnológica de servicios intensivos en conocimiento para la producción

*Edgar Buenrostro Mercado\**

#### Introducción

La innovación es un proceso complejo que comprende las capacidades de aprendizaje y articulación de conocimiento dentro de las empresas para crear nuevos productos (Carrillo *et al.*, 2012). Como resultado, las firmas no cuentan con los medios necesarios para el desarrollo de innovaciones, por lo que se hace ineludible la vinculación con otros agentes con el fin de adquirir los elementos necesarios.

Las articulaciones que llevan a cabo las compañías con las instituciones de educación superior (IES) y los centros públicos de investigación (CPI) presentan una creciente importancia como fuentes de conocimiento y tecnología. De manera especial en los sectores intensivos en conocimiento (tecnologías de la información y la comunicación — TIC—, aeroespacial, biotecnología, nanotecnología), cuyos productos se encuentran directamente relacionados con los avances de la ciencia. Así como en aquellos que necesitan la incorporación de saberes provenientes de diferentes áreas científicas que requieren de trabajos multidisciplinarios que permitan plantear soluciones integrales que respondan a las necesidades actuales.

Así, desde hace algunos años se promueve la creación de vínculos universidad-empresa para impulsar el surgimiento de innovaciones. Uno de los principales mecanismos es la transferencia tecnológica, a

---

\* Doctor en Ciencias Sociales por la Universidad Autónoma Metropolitana. Profesor investigador de Infotec, Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación.

través de la cual las firmas mejoran su competitividad en relación con sus competidores. Por ello, organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la Unión Europea (UE) y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) han impulsado la adopción de políticas para fomentar la articulación entre los sectores científico y productivo como motor del crecimiento (D'Este y Pekermann, 2011), para lo cual han generado instrumentos con diferentes niveles de complejidad y diversidad para estimular la transferencia.

Con el surgimiento y crecimiento de sectores intensivos en conocimiento, donde la ciencia y la tecnología juegan un papel cada vez más importante, la generación de innovaciones es resultado de la combinación de diferentes disciplinas científicas (multidisciplinarietà), por lo que la transferencia se vuelve cada vez más relevante como fuente de conocimiento para las empresas.

En el caso particular de las TIC, han pasado por diversas transformaciones que se reflejan en la manera en que se crean, distribuyen e incorporan a los procesos productivos de las empresas, modificando su modelo de negocios y estableciendo nuevos mercados donde el intercambio de información sin la intervención de las personas es cada vez más importante.

Para las empresas, la incorporación de las TIC cobra mayor relevancia en la medida en que la formación de ventajas competitivas, fundamentadas en la generación y acumulación de capacidades tecnológicas, se convierte en la base del crecimiento económico y suscita cambios en las actividades de las firmas, así como entre socios, clientes y proveedores, que modifican los procesos de producción y distribución, y los productos en sí mismos (Galve y Gargallo, 2004; Wielicki y Arendt, 2010; Hawash y Lang, 2010).

Estas condiciones plantean un reto a los procesos de transferencia tecnológica academia-empresa, que deben adaptarse a las condiciones emergentes del mercado, por lo que se vuelve necesario considerar cómo se generan las articulaciones para la transferencia entre los actores científicos y el sector productivo. En este sentido, el objetivo de este capítulo es identificar los mecanismos y las modalidades que surgen de los acuerdos de colaboración entre los agentes públicos y privados para transferir tecnología a partir de las condiciones que se gestan en dos instituciones de desarrollo de software libre (SL) en México, una localizada en la Ciudad

de México y la otra en Zacatecas, a través de su vinculación con actores de diferentes sectores económicos.

El capítulo se divide en seis apartados, el primero es la introducción, en el segundo se identifican las características de los servicios intensivos en conocimiento, con énfasis en su transversalidad con los diferentes sectores económicos; en el tercero se presentan las particularidades de la transferencia tecnológica en servicios; en el cuarto se muestra la situación de la transferencia tecnológica en México y en los casos elegidos; en el quinto se analizan las condiciones de vinculación a partir de los estudios, y finaliza con las conclusiones.

## Los servicios intensivos en conocimiento

El estudio de los servicios y su contribución al crecimiento económico y la innovación es reciente (década de 1980), ya que se consideraban como sectores que requerían del uso intensivo de mano de obra escasamente calificada, que se reflejaba en una limitada productividad y bajos salarios (Gallouj y Savona, 2008). Se suponía que estos no eran una fuente de cambios significativa para aumentar la competitividad y la productividad de la economía (Gallouj y Djellal, 2010), a diferencia de la industria, que se identificaba como intensiva en el uso de tecnología, cuyos avances acrecientan la producción y el producto interno nacional.

Se asociaban a procesos de desindustrialización, que impactarían negativamente en el desarrollo nacional por la baja productividad en relación con la manufactura, así como en un descenso de los ingresos externos por la disminución de las exportaciones. Como resultado, las políticas nacionales de estímulo a la producción mostraban un sesgo hacia la industria y prestaban poco interés en incorporar a las empresas de servicios (EU, 2007; Tacsir, 2011; Gallouj y Djellal, 2010). En los últimos años los servicios se han convertido en el motor del crecimiento, el empleo y el aumento de la productividad, por lo que surgió desde la academia la necesidad de su estudio, diferenciándolos de los sectores industriales, para identificar sus condiciones y particularidades

En la literatura económica se han identificado tres marcos teóricos y metodológicos que explican los procesos de la innovación en servicios en relación con la manera en que se percibe en función de los procesos

industriales (Howells, 2010; Toivonen, 2010; Silva *et al.*, 2011; Drejer, 2002; Gallouj y Savona, 2009); el enfoque tecnológico, el orientado a los servicios y el integrado. Las diferencias radican en la medida en que las empresas de servicios se distinguen de la industria y las divergencias en la producción entre ambos sectores (Toivonen y Tuominen, 2009).

En el primer caso, se considera que las innovaciones en los servicios se presentan como resultado de la incorporación de tecnología y sistemas provenientes del sector manufacturero, por lo que se le llama “el ciclo inverso del producto” (Gallouj y Djellal, 2010; Szczygielski, 2011). En particular se refiere al uso de elementos tecnológicos, como las computadoras y otros equipos informáticos por parte de las empresas de servicios (Howells, 2010).

Como respuesta al enfoque tecnológico surge una corriente que se concentra en la reafirmación de las discrepancias de los servicios en relación con las manufacturas (Gallouj y Weinstein, 1997; Sundbo, 1997). A diferencia de los trabajos anteriores, intentan alejarse de la simple adopción de los modelos de producción basados en la innovación industrial, para concentrarse en las particularidades de los servicios y la manera en que estas dan lugar a una nueva conceptualización de la innovación. En estos se retoman elementos como *i*) la intangibilidad; *ii*) la simultaneidad de la producción y el consumo; *iii*) la participación directa del consumidor dentro de la producción; *iv*) los problemas para detectar la innovación en el sector, y *v*) el énfasis en nuevas prácticas de organización y rutinas (Howells, 2010; Szczygielski, 2011).

Surge una distinción entre innovación tecnológica y no tecnológica. En la primera se encuentran los cambios en el proceso y en el producto, y en la segunda se agregan modificaciones en la organización y en *marketing* como nuevos conceptos para entender el surgimiento de la innovación en su conjunto. Estos trabajos enfatizan las diferencias entre servicios e industria, por lo que no permiten realizar comparaciones o generalizaciones, limitándose a un nivel de estudios puntuales con escasas aportaciones a la comprensión del fenómeno en su conjunto.

Por último, el enfoque integrado surge como resultado de un planteamiento de síntesis, donde la innovación en servicios presenta algunas características similares a la de la industria manufacturera. El punto central es que no se cuenta con las herramientas para ser conceptualizada, medida y analizada adecuadamente (Gallouj y Weinstein, 1997; Gallouj y Djellal,

2010; Howells, 2010), por lo que el objetivo es avanzar en la formulación de propuestas para detectar la innovación tecnológica y no tecnológica.

Esta posición ha tomado forma con el aumento del entrelazamiento y convergencia de bienes y servicios cada vez más complejos que requieren de la intervención de diferentes sectores económicos para su realización (esto es particularmente notable en las TIC y en particular en el software, el cual se encuentra incorporado en los procesos y en los productos finales). En este enfoque se considera que es necesaria una teoría de la innovación que dimensione los cambios que ocurren en la economía moderna (Gallouj y Weinstein, 1997), que cuente con herramientas para determinar la importancia de estas actividades en el crecimiento y aporte elementos para comprender su naturaleza.

Por el momento no existe un marco conceptual unificado, por lo que en este trabajo se ha optado por un acercamiento multidimensional basado en las particularidades del sector, alejado de la búsqueda de un modelo ideal de aplicación general y orientado a identificar los elementos centrales de los diferentes tipos de procesos, haciendo énfasis en la multidisciplinariedad de las TIC en la economía.

## La transferencia tecnológica en los servicios

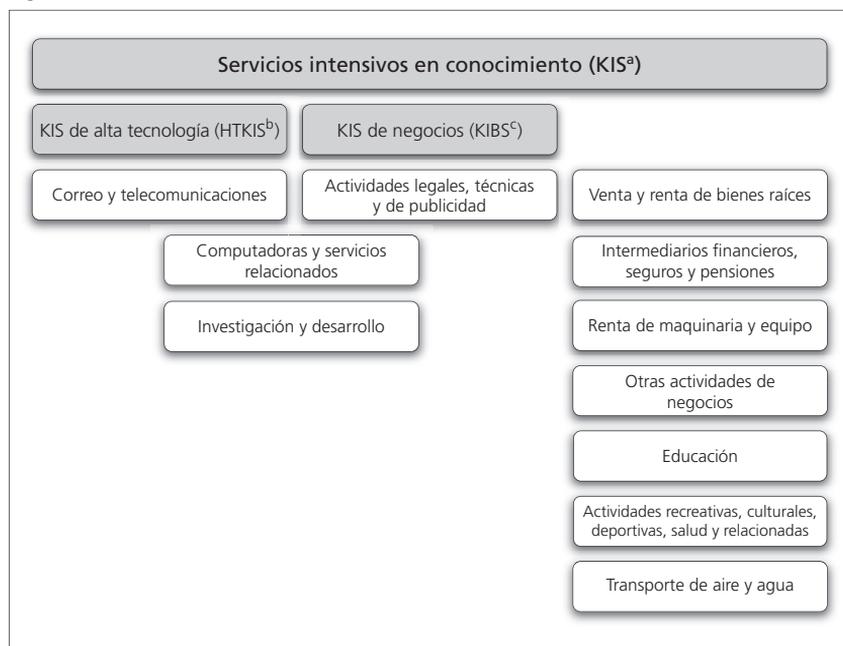
El software en particular y las TIC en general han sido uno de los sectores que ha presentado un mayor crecimiento en los últimos años. Por su naturaleza estos se consideran servicios intensivos en conocimiento (κΙS, por sus siglas en inglés), los cuales presentan una elevada intensidad relativa de capital y un alto grado de especialización (EU, 2009).

Para los que se incorporan a los procesos de producción se ha generado una clasificación especial: *Knowledge Intensive Business Services* (κΙBS), donde se encuentran agrupadas las TIC que forman parte de los productos y de los nuevos modelos productivos basados en la digitalización, generación, distribución y análisis de la información, Big Data, internet de las cosas (IoT) e internet industrial (Evans y Annunziata, 2012) (figura 1).

La incorporación de las TIC en las empresas ha llevado a la formulación de un nuevo proceso de producción basado en la informática y en la capacidad de generar, transmitir y recibir grandes cantidades de datos (Evans y Annunziata, 2012) mediante la interacción entre dispositivos

inteligentes conectados por medio de sistemas inteligentes, de tal manera que, por un lado, permitan la toma de decisiones más informadas y en tiempo real y, por el otro, la flexibilización de la producción, basada en sistemas ciberfísicos con alto valor agregado (Casalet, 2016).

Figura 1. Clasificación de servicios intensivos en conocimiento



Fuente: Elaboración propia con base en EU (2009).

<sup>a</sup> Knowledge Intensive Services.

<sup>b</sup> High Technology Knowledge Intensive Services.

<sup>c</sup> Knowledge Intensive Business Services.

La conjunción de estas nuevas estructuras de producción, generación, almacenamiento y distribución de conocimiento a través de las TIC ha dado lugar a una transformación de las cadenas de valor, donde las tecnologías de la información son el elemento central que impulsa un sistema en el que interactúa el mundo físico y el digital, creando nuevos procesos que aumentan el conocimiento, la productividad y la innovación a través de la combinación del Open Data, el Big Data, el IoT y el cómputo en la nube, para formar lo que ahora se ha llamado internet industrial.

## La transferencia tecnológica en los KIBS

Para las pequeñas y medianas empresas (pymes), la complejidad de los procesos de innovación, la incertidumbre asociada y los recursos escasos obstaculizan la generación de ventajas competitivas que impulsen su capacidad para insertarse en las cadenas de valor. Una de las estrategias para disminuir estos inconvenientes es la articulación con las IES y los CPI. Estas se han desarrollado a través de un conjunto de actividades que se encuentran relacionadas con las condiciones del entorno en que se desenvuelven los actores, así como del régimen tecnológico presente (CEPAL, 2010).

Como parte de la tercera misión, las instituciones se han convertido en agentes activos para aumentar la competitividad de la región mediante programas que impulsen la comercialización de las investigaciones, el desarrollo de proyectos conjuntos, la consultoría, la estancia de investigadores en las empresas, entre otras actividades orientadas a generar vínculos entre los agentes de la región (Molas-Gallart, *et al.*, 2002). Las relaciones que surgen de estos procesos se dirigen, por un lado, a la producción y, por el otro, a la difusión tecnológica que se encuentra ligada con el *open science* a través de la comunicación de conocimientos científicos por medio de conferencias, artículos y medios informales (COTEC, 2003) que, a diferencia de los primeros, no implican un convenio o acuerdo que presupone una contraprestación por el conocimiento.

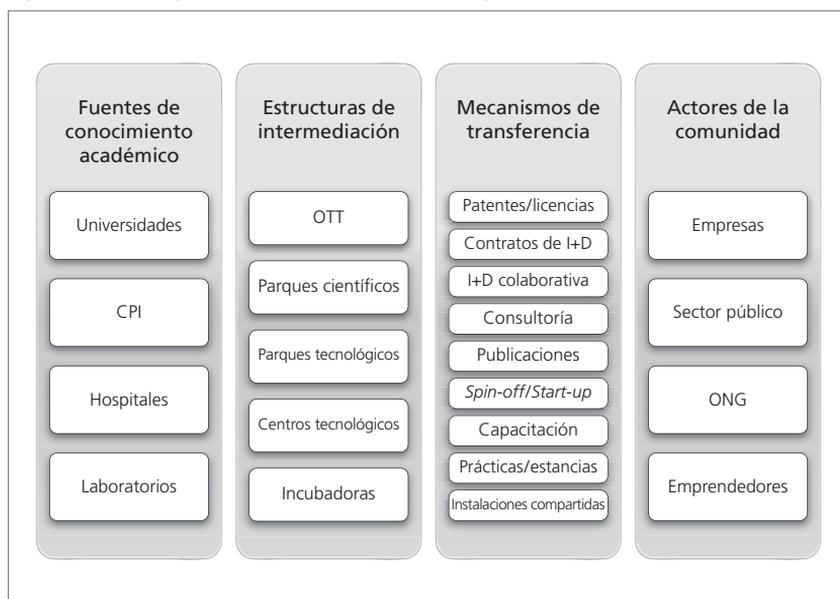
Dentro de estos vínculos, la transferencia tecnológica (TT) universidad-empresa ha tomado un papel central, el cual se refleja en la gran cantidad de programas y políticas orientadas a incentivar la articulación entre estos sectores en diversos países (Casalet, 2012). Cuando se habla de transferencia tecnológica se hace referencia al conjunto de conocimientos sistemáticos para la elaboración de un producto (bienes y servicios) o su aplicación en un proceso, que en conjunto con los instrumentos y procedimientos se reflejan en una innovación orientada a satisfacer una necesidad del mercado. Es decir, se refiere no solamente a los elementos tangibles, sino también a aquellos que no son fácilmente identificables y medibles, como las teorías, las técnicas, habilidades, diseños industriales, modelos de utilidad, entre otros (González, 2011).

Roessner define la TT como “el movimiento de los conocimientos técnicos o tecnología de un marco organizativo a otro” (Bozeman, 2000).

Esta definición permite adaptarse a un conjunto amplio de arreglos institucionales, en donde convergen diversas fuentes de usuarios y tecnología (Stezano, 2011), ya que considera que no solo se transfiere la tecnología, sino también un conjunto de conocimientos para su uso y aplicación que no pueden actuar de manera desasociada.

A partir de la revisión de los distintos modelos de transferencia se distingue un conjunto de estructuras de intermediación, canales de conducción y mecanismos de transferencia que forman parte de las vinculaciones que surgen entre los generadores del conocimiento y el sector productivo que se muestran en la figura 2.

Figura 2. Proceso general de transferencia tecnológica



Fuente: Elaboración propia con base en EU (2009).

Dentro del proceso general de TT se observa que hay distintas estructuras que responden a las condiciones de los sectores productivos a los que se dirigen, las que se realizan por medio de una serie de mecanismos que transforman el conocimiento científico en tecnológico, factible de ser aprovechado por los distintos agentes económicos y sociales.

## La transferencia público-privada en los servicios de software en México

El software se ha incorporado de manera transversal como insumo para la producción de los distintos sectores de la economía. Su uso modifica los modelos de negocios a nivel global y conlleva cambios asociados a los métodos de trabajo, las relaciones de producción y las estructuras organizacionales en los diferentes procesos dentro de las firmas (Rivas y Stumpo, 2013). Estas condiciones plantean un reto a los procesos de TT universidad-empresa creando nuevas condiciones, a las cuales deben responder los modelos de vinculación público-privada para la innovación.

A nivel de políticas públicas nacionales, la TT tiene un papel importante como impulsora de la innovación, por lo que en 2010 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizó la Encuesta Nacional de Vinculación (ENV) con dos objetivos centrales; el primero de ellos orientado a las empresas (Enaves) con el objetivo de identificar las estrategias de vinculación con las IES y, por otro lado, se dirige también a las instituciones de educación superior (Enavi), para diagnosticar la condición de las capacidades institucionales de articulación (SEP, 2010).

A diferencia de otras encuestas, en la ENV se considera la innovación como un fenómeno que no está restringido solo al proceso de producción, sino que se extiende hacia otras etapas anteriores y posteriores a la producción en sí misma. Por otro lado, identifica que los cambios no son exclusivos de la industria manufacturera, sino también ocurren en los sectores enfocados a los servicios, tal como lo propone el Manual de Oslo en su tercera edición (OECD, 2005).

De los datos de la encuesta se desprende que las empresas ubicadas en el país concentran su innovación en los productos y servicios y, en menor medida, en los procesos de producción, la mercadotecnia (distribución, comercialización, venta) y en la administración (cuadro 1); si se analiza la tendencia de las actividades, todas ellas muestran una disposición creciente en los años reportados.

Respecto de la forma en que las empresas generan innovaciones, se destaca que son realizadas fundamentalmente de manera individual, sin recurrir a la colaboración de instituciones educativas y de investigación.

Esto indica la falta de vinculaciones entre agentes públicos y privados, lo que restringe las aportaciones de las IES y los CPI al desarrollo.

**Cuadro 1. Actividades donde se incorporaron innovaciones en los últimos tres años (porcentaje)**

<i>Año</i>	<i>Productos y servicios</i>	<i>Procesos de producción</i>	<i>Procesos de distribución/comercialización</i>	<i>Procesos de venta</i>	<i>Procesos de administración</i>
2006	51.45	20.26	26.69	29.26	33.12
2007	63.02	23.15	36.01	38.91	39.23
2008	63.34	27.97	45.98	48.87	52.09

Fuente: Elaboración propia con base en SEP (2010).

Por otro lado, a pesar de que las empresas reportan que las innovaciones se realizan en mayor medida en los productos y servicios, no es en este rubro donde se concentra la participación de los CPI y las IES, sino en los procesos administrativos (cuadro 2), que requieren una articulación de menor complejidad, ya que no demandan procesos que involucren intercambio de conocimiento y tecnología en ambos sentidos, así como de la intervención de los investigadores y estudiantes en los procesos centrales de las empresas.

**Cuadro 2. Innovaciones realizadas en colaboración con IES y/CPI 2006-2008 (porcentaje)**

<i>Tipo</i>	<i>Productos y servicios</i>	<i>Procesos de producción</i>	<i>Procesos de distribución/comercialización</i>	<i>Procesos de venta</i>	<i>Procesos de administración</i>
Sin colaboración	66.24	32.8	47.59	50.8	46.95
Con colaboración	18.97	11.25	12.54	11.25	21.23

Fuente: Elaboración propia con base en SEP (2010).

De los datos de la encuesta se desprende que la vinculación en México se encuentra orientada fundamentalmente hacia actividades simples que requieren escasa articulación, por lo que es necesario fortalecer los procesos, así como los canales para la generación de intercambios duraderos y complejos que respondan a las condiciones de un entorno en constante cambio, donde las ventajas competitivas solo se pueden mantener por medio de la innovación continua.

## Las condiciones de transferencia en Zacatecas y la Ciudad de México

En el caso del estado de Zacatecas, los programas de transferencia tecnológica y de conocimiento se encuentran asociados a la política de ciencia, tecnología e innovación (CTI). A nivel local, el organismo encargado de implementar los programas de fomento a la ciencia, el desarrollo tecnológico, la transferencia e innovación es el Consejo Zacatecano de Ciencia y Tecnología (Cozcyt), organismo público descentralizado sectorizado a la Secretaría de Educación (Cozcyt, 2015).

En 2005 se promulga en el estado la Ley de Ciencia y Tecnología que regula las actividades científicas, tecnológicas, de transferencia de tecnología e innovación en el estado (FCCYT, 2015), a partir de la determinación de los sectores estratégicos para el futuro de Zacatecas (TIC, minería, automotriz). Una de las acciones que se deriva de la ley es el impulso al uso de las TIC apoyando el desarrollo de SI para responder a las necesidades de los actores públicos y privados del estado por medio de la enseñanza, el desarrollo, la transferencia y la implementación del SI en las actividades del sector público y educativo.

Para impulsar el uso del SI se estableció un conjunto de iniciativas orientadas a generar proyectos estratégicos de apoyo al sector, a partir de los cuales se definieron cinco acciones básicas: a) la creación del Laboratorio de SI; b) impulsar la formación de un clúster de SI; c) la iniciativa de ley estatal para el aprovechamiento de SI en los organismos públicos; d) escuelas Linux, e) promover el uso del SI a través de los proyectos sociales de la Secretaría de Planeación y Desarrollo Regional.

En septiembre de 2013, derivado de las propuestas del Plan Estatal de Desarrollo 2011-2016, se expide la Ley para Fomentar la Creación, Desarrollo, Utilización y Difusión del Código Abierto del Estado de Zacatecas, que determina los lineamientos estatales para impulsar el SI como parte de una política para el desarrollo de capacidades locales en tecnologías de la información (TI) y al mismo tiempo reducir los costos asociados al uso de esta tecnología en el sector público estatal y municipal.

Como resultado, se establece que los organismos públicos del estado deben considerar el uso de SI a la par de soluciones comerciales, para

cubrir sus necesidades tecnológicas en mejores condiciones, con el fin de impulsar el desarrollo de SL a través de un organismo especializado en conjunto con las IES y los CPI asentados en Zacatecas, para disminuir la dependencia del software privativo, impulsando el surgimiento de innovaciones locales. Para lo cual se dispone que todos los equipos de cómputo de nueva adquisición por parte de las dependencias estatales utilicen de manera exclusiva SL.

En este entorno surge, en el año de 2012, el Laboratorio de Software Libre (Labsol), con el objetivo de llevar a cabo el Proyecto de Plan Estatal de Creación, Desarrollo, Utilización y Difusión del Software Libre y de Código Abierto en los sectores público, privado y social del estado de Zacatecas (POEZ, 2013), a través de la determinación de las necesidades públicas y privadas en el uso de TI, con el fin de investigar las soluciones abiertas que se adapten a las necesidades de los actores locales.

El laboratorio se encarga de promover el uso y difusión del SL en Zacatecas, impulsa la creación de vinculaciones con las instituciones de educación superior del estado para estimular el emprendimiento de los estudiantes por medio de la capacitación e incorporación en proyectos destinados al sector público y privado (POEZ, 2013). Para ello se estableció una plataforma basada en seis puntos: *a)* análisis y estudio de proyectos, *b)* integración de los sectores productivos, *c)* alianzas estratégicas, desarrollo de proyectos, *e)* autosuficiencia del laboratorio y *f)* creación de un laboratorio de súper cómputo (Haro, 2014).

Para la generación de los procesos de vinculación, el laboratorio no cuenta con un área especializada, por lo que ha implantado una estrategia para realizar contactos que impulsen la formación de articulación tanto con agentes estatales como nacionales e internacionales, donde la oferta de servicios se define de acuerdo con las necesidades de los clientes, la complejidad y el grado de avance de los proyectos, las cuales se muestran en el cuadro 3.

El funcionamiento del laboratorio se apoya en las políticas locales de fomento al SL, que se complementan con los programas nacionales para impulsar la innovación, en particular los fondos mixtos, que se orientan a responder las necesidades de la región. Como parte de una estrategia estatal para el desarrollo regional a través del impulso a las TIC como elemento transversal a la economía.

### III. La transferencia tecnológica de servicios intensivos en conocimiento

**Cuadro 3. Acciones de transferencia del Labsol**

<i>Servicios</i>	<i>Actividades</i>	<i>Acciones</i>
Desarrollo de proyectos conjuntos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de cartera de productos.</li> <li>• Programa de apoyo a empresas para el desarrollo de proyectos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de programas públicos de apoyo a la innovación.</li> <li>• Elaboración de proyectos de innovación.</li> </ul>
Desarrollo a la medida e implementación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de software a la medida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de software de acuerdo con las necesidades de los clientes.</li> <li>• Desarrollo de plataformas de las dependencias estatales y municipales.</li> <li>• Implementación de soluciones abiertas en el sector público y privado.</li> <li>• Capacitación de usuarios.</li> <li>• Soporte de los desarrollos.</li> </ul>
Educación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferta de programas educativos.</li> <li>• Programas de emprendedurismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cursos para estudiantes de las universidades del estado.</li> <li>• Incorporación de estudiantes al sector público y privado.</li> <li>• Asesoría a los estudiantes para la formación de empresas.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en la Ciudad de México los programas de innovación y transferencia tecnológica están asociados a la política de CTI local, a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (Seciti), la cual surge de la transformación del Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (GODF, 30 de octubre de 2013), con el objetivo de identificar e impulsar oportunidades de desarrollo de nuevas tecnologías para el fortalecimiento de la entidad, así como promover la formación de redes de investigación para generar procesos de cooperación en las distintas ramas del conocimiento.

El estatuto que determina las líneas estratégicas de CTI en la entidad es la Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación del Distrito Federal de enero de 2013 (FCCYT, 2015), que tiene por objetivo impulsar el desarrollo científico y tecnológico del Distrito Federal a través de programas de apoyo a los proyectos científicos y tecnológicos y del fomento a un entorno favorable para impulsar la inversión en proyectos innovadores y la formación de redes de científicos y tecnólogos.

A diferencia del caso de Zacatecas, la Ciudad de México no cuenta con alguna política o programa orientados a fomentar el uso del SI dentro de las dependencias locales, por lo que cada dependencia y delegación determina de manera individual el tipo de software que utiliza dentro de sus funciones, de acuerdo con sus necesidades y las disposiciones legales vigentes.

Como asiento de los poderes federales, en la Ciudad de México, en diversas ocasiones las políticas nacionales se vinculan con las locales y se

traslapan, de tal manera que los programas federales cumplen en algunos temas el papel de las políticas locales. En el caso particular del SL la Ciudad de México se beneficia de la gran cantidad de universidades y CPI presentes en su territorio, los cuales, dentro de sus programas de docencia e investigación, desarrollan SL.

Entre los CPI se encuentra el Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación (Infotec), que en conjunto con otros centros que forman parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México tiene como objetivos la generación de conocimiento científico para la solución de problemas nacionales, la formación de recursos humanos especializados, la vinculación entre la academia y los demás sectores sociales y económicos, la promoción de la innovación para la generación de una economía del conocimiento, la difusión y el fomento de la investigación científica y tecnológica en el país (Conacyt, 2014).

La institución surge en 1974 con el nombre de Fondo de Información y Documentación para la Industria, como un fideicomiso público para prestar servicios de información y documentación en relación con las novedades tecnológicas, para apoyar la modernización de la industria a través de boletines con noticias técnicas. Con el surgimiento del internet, asume la administración de la Red Tecnológica Nacional con el objetivo de impulsar la implantación en México del internet (Infotec, 2015). En 2010 se modifican sus estatutos, para convertirse en un CPI orientado al impulso de las TIC en México, a través de la generación de recursos humanos por medio de la oferta de maestrías que forman parte del Programa Nacional de Posgrado de Calidad, a la investigación básica y aplicada y al desarrollo tecnológico.

Como parte de su estrategia, ha fomentado la articulación con actores públicos, privados y académicos, tales como el Labsol (Zacatecas), la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (Canieti) y el Sistema de Administración Tributaria (SAT). Además, participa en conjunto con otros CPI y empresas, en las convocatorias para el desarrollo de proyectos innovadores, como el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) del Conacyt y el Programa del Desarrollo de la Industria del Software y Servicios Relacionados (Prosoft).

Para impulsar la vinculación con el sector productivo, la institución cuenta con una Oficina de Transferencia de Conocimiento (OTC), la cual

### III. La transferencia tecnológica de servicios intensivos en conocimiento

promueve la interacción entre la comunidad académica y las necesidades del mercado, generando conocimiento en relación con las áreas de convergencia entre las empresas y los resultados de la investigación.

La articulación se realiza a través de diferentes canales (cuadro 4), los cuales se dividen en tres grandes áreas encaminadas a abarcar un amplio espectro de los procesos de transferencia tecnológica, donde las acciones cubren desde la elaboración de un proyecto de innovación, hasta la protección de sus resultados.

**Cuadro 4. Funciones de la OTC**

<i>Servicios</i>	<i>Actividades</i>	<i>Acciones</i>
Gestión de propiedad intelectual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asesoría en materia de propiedad intelectual.</li> <li>• Asesoría en procesos de transferencia tecnológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de las posibilidades de protección de los desarrollos de las empresas.</li> <li>• Gestoría de los derechos de propiedad intelectual.</li> <li>• Elaboración de solicitud de patentes.</li> <li>• Asesoría jurídica y técnica en propiedad intelectual.</li> </ul>
Desarrollo de proyectos conjuntos con empresas y apoyos a la innovación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas para apoyar a las empresas en el desarrollo de proyectos de innovación.</li> <li>• Generación de una cartera de productos derivados de la investigación realizada en las IES y CPI.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitación en innovación.</li> <li>• Tendencias de innovación.</li> <li>• Evaluación de propuestas de innovación.</li> <li>• Estudios sobre el estado del arte en diferentes campos.</li> <li>• Identificación de programas públicos de apoyo a la innovación.</li> <li>• Elaboración de proyectos de innovación.</li> </ul>
Espacios para la vinculación entre CPI y empresas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferta de un portal para vincular a los oferentes y demandantes de tecnología en un solo espacio.</li> <li>• Articulación con otras OTT a través de la Red de Oficinas de Transferencia Tecnológica en México (Red OTT).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asesoría en procesos de transferencia tecnológica.</li> <li>• Elaboración de contratos de transferencia tecnológica.</li> <li>• Identificación de potenciales socios tecnológicos.</li> <li>• Identificación de fuentes de capital para <i>spin-offs</i>.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas y en <www.infotec.mx>.

En la OTC se advierte que el proceso de transferencia se compone de un conjunto de acciones articuladas entre sí, y no necesariamente realizadas de manera secuencial, para responder a las necesidades de las empresas, de acuerdo con el nivel de madurez y complejidad de los proyectos. Para ello cuenta con un modelo de servicios que apoya a las empresas interesadas en vincularse con la institución, compuesto por cuatro etapas: *a)* vigilancia tecnológica; *b)* apoyo en la definición de proyectos de innovación,

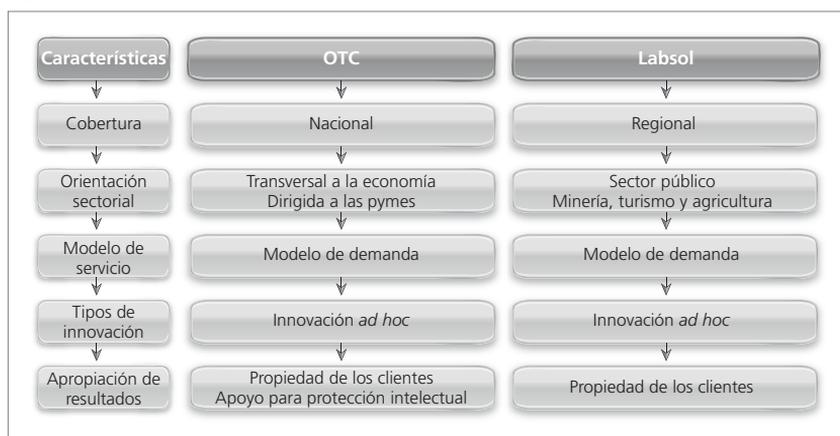
definición de mercado y conflictos de propiedad intelectual; c) desarrollo tecnológico, y d) protección de resultados y plan de comercialización.

### Condiciones de la vinculación para la transferencia tecnológica

Las TIC, como sector transversal en la economía, se usan en múltiples aspectos de la producción y la administración relacionados con una mayor intensidad del capital y el aumento de la automatización, que se refleja en términos de la productividad, eficiencia, cuota de mercado y rentabilidad.

En los dos casos analizados las articulaciones para la transferencia no se limitan a algún sector productivo en específico, donde las necesidades de las empresas y de las dependencias gubernamentales son el punto de partida para llevarla a cabo, ya que ninguna de las instituciones cuenta con un catálogo de soluciones para ofertar a los actores públicos y privados, por lo que cada proceso de vinculación es *ad hoc*, ya que depende de las particularidades de los usuarios, limitando la posibilidad de reúso. En este sentido este es un mercado de demanda, donde los clientes son los agentes centrales dentro de los procesos de innovación para la TT (figura 3).

Figura 3. Características de la transferencia en ambos casos



Fuente: Elaboración propia.

La heterogeneidad que se presenta en los requerimientos de los clientes que provienen de distintas ramas económicas refleja la importancia de la incorporación de las TIC no solo como parte de un producto o servicio dirigido al usuario final, sino también de los procesos productivos, a través de la generación, el flujo, el almacenaje y el análisis de la información para hacer más eficientes a las organizaciones.

Mediante el análisis de ambos casos se identificaron dos acercamientos diferenciados para realizar la vinculación. En el primero, se crea una oficina especializada cuyo objetivo es generar articulación para la transferencia tecnológica y de conocimiento con el sector público y privado. En el segundo, no se cuenta con una estructura especializada para estas actividades, pero se apoya en los lineamientos de la ley para el uso de SI como herramienta para la transferencia al sector público, dejando en un segundo plano la articulación con el sector privado.

Contar con una estructura dedicada a forjar vínculos con actores externos le permite al Infotec contar con personal especializado en procesos de transferencias, que se refleja en un mayor número de proyectos conjuntos realizados con empresas y otros centros de investigación y universidades. Asimismo, impulsa la formación de recursos humanos con capacidades para adaptarse a las condiciones que surgen de la articulación con los diferentes sectores económicos.

Las mayores capacidades en los procesos de vinculación por parte de la OTC se reflejan en varios aspectos. En primer lugar, se cuenta con un procedimiento estandarizado de actividades que se realizan dentro de los procesos de transferencia, lo que permite identificar de manera rápida las necesidades de las empresas en relación con las condiciones en que se encuentra su proyecto. En segundo lugar se cuenta con un espectro más amplio de acciones que se ofrecen para la innovación, ya que hay personal especializado en distintas etapas de la articulación.

En tercer lugar, la OTC cuenta con capacidades para apoyar a las empresas que van más allá del proceso de innovación, desde la asesoría para el diseño de proyectos, hasta la protección intelectual y el planteamiento de la estrategia de negocios para la explotación de los resultados de la articulación. En cuarto lugar, la oficina de transferencia presenta vínculos continuos con otras, homólogas, lo que le permite acceder a conocimiento y personal especializado cuando así lo requieren los proyectos que desarrolla.

Por otra parte, el Labsol no cuenta con una estructura de intermediación entre los desarrolladores de tecnología y los demandantes de esta, por lo que no hay una estandarización de las actividades para la transferencia, lo que no permite la profesionalización de los recursos humanos. Sus actividades se focalizan en el desarrollo tecnológico y la capacitación, a través del apoyo del sector público estatal, generando vinculaciones con las dependencias públicas, así como universidades de otros estados y con agencias similares en otros países.

La falta de personal especializado en las actividades de transferencia tecnológica es un obstáculo para gestar procesos estandarizados que apoyen a las empresas y a las dependencias públicas estatales, además de que limita la creación de capacidades de establecer vínculos dentro de la institución, por lo que el conocimiento derivado no es apropiado por el laboratorio.

## Conclusiones

A partir del análisis de dos casos de instituciones públicas que desarrollan SL, se identificaron los mecanismos y modalidades que surgen de los acuerdos de colaboración universidad-empresa para generar procesos de transferencia tecnológica en las TIC. Estos incluyen factores que se derivan de las actividades y la organización de las instituciones, considerando a los sectores económicos involucrados en las vinculaciones, así como las políticas públicas de apoyo a la transferencia y la innovación.

El elemento rector de los procesos de TT son los requerimientos de los clientes, que se encuentran estrechamente asociados a la organización de las actividades de transferencia, pues es a través de estas que se determina la oferta de servicios, se diseñan los mecanismos de vinculación y se ofertan las diferentes modalidades de trabajo. Por lo que este es un mercado de demanda.

La transferencia tecnológica de las TIC se presenta como un mecanismo para estimular la innovación no solo a través de su incorporación en los productos sino, más importante, por su integración a los medios de producción, impulsando la aparición de nuevos modelos productivos basados en la coordinación entre máquinas que crean y reciben información y que son capaces de tomar decisiones para disminuir las ineficiencias de la cadena de producción.

Con la disminución de los costos de los sensores y del equipo de almacenamiento y procesamiento, así como por el establecimiento de más y mejores redes de comunicación, están surgiendo nuevas soluciones basadas en el análisis de la información que permiten la toma inteligente de decisiones. Este es un campo de oportunidad para las universidades y CPI para sumarse a esta nueva corriente de innovación, por medio de la vinculación con otros actores de la economía, generando nuevos productos y procesos que incorporen conocimiento de diferentes disciplinas científicas para responder a las necesidades emergentes de la industria.

La participación de las IES y los CPI es fundamental para el impulso de la implementación de internet industrial en las empresas, ya que pueden involucrarse en el desarrollo de las plataformas de comunicación, los algoritmos de análisis, los protocolos de comunicación y la gestión del almacenamiento de la información, por lo que su vinculación con las firmas es un elemento central para mejorar la eficiencia y promover el surgimiento de innovaciones. Para ello es importante la creación de políticas públicas y programas de apoyo a la innovación, que juegan un papel central para la transferencia a través de la generación de articulaciones público-privadas.

Para que las vinculaciones universidad-empresa logren incorporar las TIC como elemento transversal y central dentro de los procesos de producción, es necesario reducir los factores que lo obstaculizan. A partir del trabajo se identificaron algunos de los principales: a nivel macro se observa la falta de políticas específicas para incentivar la transferencia en sus diferentes modalidades. A nivel meso, los procesos administrativos y la falta de estructuras especializadas al interior de las instituciones limita los alcances de la transferencia y es una fuente potencial de conflictos entre las partes involucradas en los proyectos. A nivel micro, la heterogeneidad de las empresas y sus necesidades impide la formación de una oferta estandarizada, por lo que el reúso de los desarrollos anteriores es muy escaso.

## Referencias

- Bozeman, Barry (2000). "Technology Transfer and Public Policy: a Review of Research and Theory", *Research Policy*, vol. 29, pp. 627-655.
- Carrillo, Jorge, Alfredo Hualde y Daniel Villavicencio (2012). *Dilemas de la innovación en México*, Tijuana, Baja California, México, El Colegio de

- la Frontera Norte/Red Temática Complejidad, Ciencia y Sociedad del Conacyt.
- Casalet Ravenna, Mónica (2016). “Desafíos para la colaboración multidisciplinaria, la formación y la seguridad”, presentación en el vigesimoquinto aniversario del Laboratorio Nacional de Informática Avanzada, octubre.
- Casalet Ravenna, Mónica (2012). “Las relaciones de colaboración entre la universidad y los sectores productivos: una oportunidad a construir en la política de innovación”, en Jorge Carrillo *et al.*, *Dilemas de la innovación en México*, Tijuana, Baja California, México, El Colegio de la Frontera Norte/Red Temática Complejidad, Ciencia y Sociedad del Conacyt.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (2010). *Espacios iberoamericanos: Vínculos entre universidades y empresas para el desarrollo tecnológico*, Santiago de Chile, CEPAL.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) (2014). “Centros públicos de investigación Conacyt”, [en línea], en *El Conacyt*. Disponible en <<http://www.conacyt.mx/index.php/el-conacyt/centros-de-investigacion-conacyt>>, consultado el 17 de noviembre de 2015.
- Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación (Cozyt) (2015). Labsol, [en línea], *Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Disponible en <<http://cozyt.gob.mx/labsol>>, consultada el 27 de agosto de 2015.
- D’Este, Pablo y Markus Pekermann (2011). “Why do Academics Engage with Industry? The Entrepreneurial University and Individual Motivations”, *Journal of Technology Transfer*, vol. 36, núm. 3, pp. 316-339.
- Drejer, Ina (2002). “A Schumpeterian Perspective on Service Innovation”, *DRUID Working Paper*, núm. 02-09, pp. 1-20.
- European Commission (EU) (2009). *Challenges for EU Support to Innovation in Services*, Luxemburgo.
- European Commission (EU) (2007). *Towards a European Strategy in Support of Innovation in Services. Challenges and Key Issues for Future Actions*, Luxemburgo.
- Evans, Peter y Marco Annunziata (2012). “Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines”, [en línea]. Disponible en <[https://www.ge.com/docs/chapters/Industrial\\_Internet.pdf](https://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf)>, consultado el 14 de agosto de 2015.
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCYT) (2015). *Catálogo de programas para el fomento a la innovación y la vinculación en las empresas 2015*, México.

- Fundación COTEC para la Innovación (COTEC) (2003). *Nuevos mecanismos de transferencia de tecnología*. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF) (2013). "Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones del Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal", 30 de octubre, núm. 1723.
- Gallouj, Faïz y Faridah Djellal (2010). "Introduction: Filling the Innovation Gap in the Service Economy: a Multidisciplinary Perspective", en *The Handbook of Innovation and Services*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar, pp. 1-26.
- Gallouj, Faïz y Maria Savona (2009). "Innovation in Services: a Review of the Debate and a Research Agenda", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 19, núm. 2, pp. 149-172.
- Gallouj, Faïz y Olivier Weinstein (1997). "Innovation in Services", *Research Policy*, Elsevier, vol. 26, núm. 4-5, pp. 537-556.
- Galve-Gorriz, Carmen y Ana Gargallo-Castel (2004). "Impacto de las tecnologías de la información en la productividad de las empresas españolas", *Documento de trabajo 2004-2005*, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Zaragoza.
- González Sabater, Javier (2011). *Manual de transferencia de tecnología y conocimiento*, [en línea]. Disponible en <<http://www.bubok.es/libros/15512/manual-de-transferencia-de-tecnologia-y-conocimiento>>, consultado el 12 de septiembre de 2013.
- Haro, Manuel (2014). "Laboratorio de Software Libre como plataforma de Innovación", *Presentación en el Workshop: Economía Digital*, enero.
- Hawash, Ronia y Guenter Lang (2010). "The Impact of Information Technology on Productivity in Developing Countries", *Working Paper Series núm. 19*, Universidad Alemana en El Cairo.
- Howells, Jeremy (2010). "Services and Innovation and Service Innovation: New Theoretical Directions", en *The Handbook of Innovation and Services*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar, pp. 68-83.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Mincyt) (2013). *Guía de buenas prácticas en gestión de la transferencia de tecnología y de la propiedad intelectual en instituciones y organismos del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación*, Buenos Aires, Argentina, Mincyt.
- Molas-Gallart, Jordi, Ammon Salter, Pari Patel, Alister Scott y Xavier Duran (2002). *Measuring Third Stream Activities*, [en línea]. Disponible en <<http://>

- www.academia.edu/532097/Measuring\_third\_stream\_activities>, consultado el 4 de diciembre de 2014.
- OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2005). *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*, Madrid.
- Periódico Oficial del Estado de Zacatecas (POEZ) (2013). "Ley para fomentar la creación, desarrollo, utilización y difusión del software libre y de código abierto del estado de Zacatecas", Zacatecas, 14 de septiembre, núm. 74.
- Rivas, Diego y Giovanni Stumpo (2013). "La industria manufacturera argentina 2003-2010. Reconstruyendo capacidades para enfrentar los desafíos del siglo XXI", en *La industria argentina frente a los nuevos desafíos y oportunidades del siglo XXI*, Santiago, Chile, CEPAL.
- Secretaría de Educación Pública (SEP) (2010). *Encuesta Nacional de Vinculación en Empresas*, México, SEP.
- Silva, Maria, Gastão Sousa, Jacinta Moreira y Jorge Simoes (2011). "Innovation Activities in the Service Sector: Empirical Evidence from Portuguese Firms", *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology*, vol. 1, núm. 6, octubre, pp. 1-17.
- Stezano, Federico (2011). *Redes ciencia-industria para la transferencia en México, Estados Unidos y Canadá. Regímenes institucionales y tecnológicos y mecanismos de intermediación*, México, Flacso.
- Sundbo, Jon (1997). "Management of Innovation in Services", *The Service Industries Journal*, vol. 7, núm. 3, pp. 432-455.
- Szczygielski, Krzysztof (2011). "What are Service Sector Innovations and How do We Measure Them?", *CASE Network Studies & Analyses*, núm. 422, pp. 1-19.
- Tacsir, Ezequiel (2011). *Innovación en los servicios. El difícil caso de América Latina y el Caribe*, Santo Domingo, República Dominicana, BID.
- Toivonen, Marja (2010). "Different Types of Innovation Processes in Services and their Organisational Implications", en *The Handbook of Innovation and Services*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar, pp. 221-249
- Toivonen, Marja y Tiina Tuominen (2009). "Emergence of Innovations in Services", *The Service Industries Journal*, vol. 29, núm. 7, pp. 887-902.
- Wielicki, Tom y Lukasz Arendt (2010). "A Knowledge-driven Shift in Perception of ICT Implementation Barriers: Comparative Study of US and European SMEs", *Journal of Information Science*, vol. 36, núm. 162, pp. 162-174.

## IV. Análisis de grupos de investigación de biotecnología, nanotecnología y TIC en Argentina: algunos elementos para discutir el desempeño académico y la transferencia al sector privado

Florencia Barletta,\* Mariano Pereira,\*\* Sergio Rodríguez,\*\*\*  
Gabriel Yoguel\*\*\*\*

### Introducción

La literatura sobre innovación ha realizado significativas contribuciones sobre la relación existente entre los sectores académico y productivo sustentadas en la idea de que los procesos para innovar son interactivos y que emergen a partir de los flujos bidireccionales de conocimientos que surgen de la interacción entre las diferentes organizaciones del sistema económico.<sup>1</sup> Estas ideas motivaron la realización de diversas investigaciones que buscaban aportar evidencia empírica sobre las características de la transferencia de conocimientos y, en particular, sobre el rol de los actores involucrados en estas actividades, ya sean firmas o instituciones públicas de investigación (Agrawal, 2001; Shane y Stuart, 2000; Cohen *et al.*, 2002; Fontana *et al.*, 2006; Schartinger *et al.*, 2001; Roessner, 1993;

---

\* Licenciada en Economía. Maestra en Relaciones y Negociaciones Internacionales. Profesora investigadora de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS).

\*\* Licenciado en Economía. Investigador del Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI) e Instituto de Industria (Idei)-UNGS.

\*\*\* Licenciado en Sociología. Investigador del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Mincyt).

\*\*\*\* Licenciado en Economía. Investigador del Instituto de Industria (Idei)-UNGS/CIECTI.

<sup>1</sup> Un análisis bibliométrico de la literatura que estudia la relación entre universidad y empresa puede verse en Teixeira y Mota (2012). Del análisis de los más de quinientos *papers* publicados entre 1986 y 2011, las autoras identifican diez tipos de estudios que abarca la literatura. Este artículo se enmarca en los estudios de transferencia que ellas describen como focalizados en las características de los científicos involucrados en la transferencia (Edler *et al.*, 2011; Lee, 1996; Zucker y Derby, 1996; Bains, 2005; Lam, 2005; Lubango y Puris, 2007; Crowe y Goldberg, 2009).

Bercovitz y Feldman, 2003; Di Gregorio y Shane, 2003; Tornquist y Kallsen, 1994; Bekkers y Bodas, 2008; D'Este y Patel, 2007; Schartinger *et al.*, 2001). La mayor parte de estos escritos, que se refieren fundamentalmente a países desarrollados, corrobora una relación positiva entre la excelencia académica y la transferencia de conocimientos y tecnología al sector productivo, sin embargo, esta no puede ser extrapolada a los países de menor desarrollo relativo. Por un lado, la investigación está asociada a los determinantes tradicionales de la actividad científica en un marco de frágiles y esporádicas interacciones entre los diversos actores del sistema (Arocena y Sutz, 2006). Por otro, la elevada distancia cognitiva que existe entre el sector productivo y el académico en algunas disciplinas explica por qué las vinculaciones, cuando ocurren, tienen un objetivo más orientado a sustituir capacidades ausentes que a complementar saberes. Estos factores suministran indicios de la ausencia de convergencia que se da no solo entre el sector académico y el productivo, sino también al interior de estos dos sectores cuando se consideran en forma conjunta las tres tecnologías claves del nuevo paradigma: nanotecnología, biotecnología y tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

En ese marco, el objetivo de este trabajo —de carácter exploratorio y cuantitativo— es analizar la relación existente entre la productividad científica y las actividades de transferencia que realizan los grupos de investigación que trabajan en las áreas de TIC, biotecnología y nanotecnología y que pertenecen a distintas instituciones académicas de Argentina. La motivación de esta obra parte de la hipótesis de la existencia de una lógica conflictiva entre los objetivos de excelencia académica y transferencia de conocimientos que puede reflejarse en características diferenciales de los grupos de investigación.

Las principales preguntas de investigación son las siguientes: *a)* ¿es posible identificar algún tipo de asociación entre productividad académica de los grupos y la transferencia que realizan?, *b)* ¿son los grupos de mayor productividad académica los que tienen mayor intensidad de vinculación con el sector productivo?, *c)* ¿es posible identificar factores de convergencia entre las tres tecnologías cuando el funcionamiento de los sistemas de innovación de países en desarrollo está fuertemente fragmentado y la presencia de interacciones entre sus componentes es débil?

En la segunda sección se presenta, en primer lugar, la estadística descriptiva que hace referencia al desempeño académico de los grupos esti-

mado a partir del nivel de productividad, factor de impacto y cantidad de citas de las publicaciones de los grupos de investigación de las tres disciplinas entre 1997 y 2012. En segundo lugar, se analiza el grado de asociación entre el nivel de productividad académica y las vinculaciones que tienen los grupos con otras universidades, centros de investigación y fundamentalmente con empresas. En la tercera sección se presentan los resultados de un análisis de clúster que tiene por objetivo identificar grupos homogéneos en términos de una serie de factores que caracterizan a los grupos de investigación (disciplina académica, la dependencia institucional, las diferentes fuentes de financiamiento y la proporción de doctores en el grupo). La idea que está detrás de este ejercicio consiste en observar si existe convergencia entre grupos de las tres tecnologías en términos de las variables consideradas para armar los clústeres. A partir de esa identificación se analiza en forma descriptiva el grado de asociación que existe en cada uno de los grupos entre la productividad académica y las actividades de transferencia. En la cuarta sección presentamos dos ejercicios econométricos: el primero de ellos analiza la asociación existente entre la productividad académica y la transferencia para todos los grupos de la base, mientras que el segundo se orienta a identificar si existe alguna relación positiva entre ambas dimensiones a partir de métodos econométricos considerando los cuartiles de la distribución de la productividad académica. Finalmente, en la quinta sección, se presentan las principales conclusiones.

### **Estadística descriptiva**

La base de datos utilizada está compuesta por 581 grupos de investigación pertenecientes a instituciones públicas de investigación que fueron encuestados en 2013 por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Argentina. La base de datos utilizada presenta tres fortalezas: *a)* cubre una elevada proporción del universo de grupos de investigación en estas disciplinas, *b)* permite capturar el carácter colectivo del proceso de generación y transferencia de conocimiento porque la unidad de análisis es el grupo de investigación y no el investigador individual, y *c)* incluye las tres disciplinas que constituyen el núcleo del paradigma tecnoorganizacional vigente a nivel global.

De los grupos 54% están especializados en TIC, 14% en nanotecnología y el 32% restante en biotecnología. Los datos sobre las características de esos grupos (relevancia de las actividades de transferencia, porcentaje de doctores, adscripción institucional, financiamiento de la investigación, tamaño y localización geográfica) fueron complementados con información secundaria utilizando datos bibliométricos de Scopus para el periodo 2007-2012. A partir de esta información se construyeron indicadores que dan cuenta de la productividad científica de los grupos (número de *papers* por integrante del grupo), del grado de visibilidad (cantidad de citas promedio anual por publicación) y del posicionamiento relativo de las publicaciones (factor de impacto de las revistas en las que publican).

**Cuadro 1. Información bibliométrica: Comparación entre periodos**

	Productividad		Posicionamiento		Citas		Cantidad de grupos
	2007-2009	2010-2012	2007-2009	2010-2012	2007-2009	2010-2012	
TIC	0.10	0.18 ↑	0.05	0.15	0.25	0.61	315
Nano	0.92	0.87	0.33	0.29	0.78	1.91 ↑	80
Bio	1.02	1.25 ↑	0.28	0.28	1.35	2.65 ↑	185
TOTAL	0.50	0.61	0.16	0.21	0.67	1.44	580

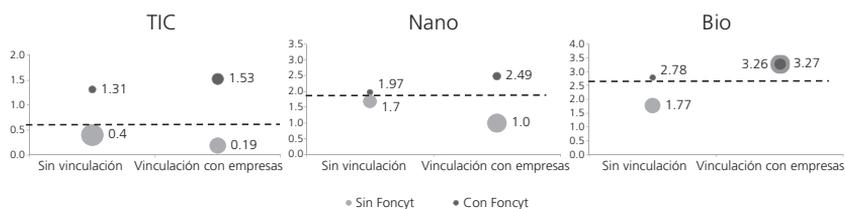
Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 1 presenta una comparación de la productividad, posicionamiento y citas para el periodo 2007-2009 y 2010-2012. De su lectura surge que los grupos de TIC sobresalen por su fuerte crecimiento en productividad, posicionamiento y visibilidad, aunque partiendo de un reducido nivel previo. En contrapartida, cuando se analiza el desempeño de los grupos de bio y nanotecnología, los indicadores registran mayores niveles aunque dan cuenta de un marcado estancamiento en la productividad científica (nanotecnología) y en el factor de impacto (bio y nanotecnología). Sin embargo, el crecimiento registrado por la cantidad de citas recibidas por cada artículo publicado es muy importante en estas dos disciplinas.

Adicionalmente, al interior de cada una de ellas el desempeño académico dista de ser homogéneo. La gráfica 1 presenta, para cada disciplina, la cantidad promedio de citas según la interacción de dos dimensiones: la vinculación con empresas y el financiamiento de Fondo para la Investi-

gación Científica y Tecnológica (Foncyt).<sup>2</sup> Se observa que los grupos con mejor desempeño (según el promedio de citas recibido) en TIC y nanotecnología son aquellos que reciben financiamiento del Foncyt y a su vez los que tienen vinculaciones con empresas, mientras que en los grupos de biotecnología la estrecha relación con empresas, más allá de la fuente de financiamiento, constituye una dimensión diferenciadora. Es decir, los grupos de biotecnología que tienen un elevado promedio de citas por artículo son los que mantienen vinculaciones con empresas, más allá de haber recibido o no financiamiento proveniente del Foncyt.

**Gráfica 1. Promedio de citas por artículos publicados según vinculación con empresas y financiamiento del Foncyt<sup>a</sup>**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>a</sup> El tamaño del círculo representa la proporción de grupos dentro de cada disciplina.

### La asociación entre productividad académica y las vinculaciones de los grupos de investigación<sup>3</sup>

La productividad científica de los grupos de investigación estudiados tiene una muy elevada heterogeneidad por disciplina. En promedio, en el periodo 2010-2012 los 581 grupos publicaron 0.61 *papers* por integrante, lo que es la consecuencia de niveles muy reducidos en TIC (0.18), levemente superiores al promedio en nanotecnología (0.87) y sustancialmente más elevados en biotecnología (1.24). Esta fuerte heterogeneidad en los niveles medios de productividad académica guarda

<sup>2</sup> El Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (Foncyt) es una organización dependiente de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica que tiene como objetivo financiar proyectos de investigación.

<sup>3</sup> Véanse los cuadros 1 y 2 del apéndice estadístico.

muy desigual asociación con las vínculos que los grupos mantienen con empresas, con universidades nacionales —estatales y privadas— y extranjeras, y con centros públicos.

Entre estos destacan los generados con universidades públicas nacionales, en promedio en 82% de los grupos, con niveles superiores en TIC (85%) e inferiores en nanotecnología (70%). Los principales objetivos de las vinculaciones con estas universidades fueron el desarrollo de proyectos (alrededor de 80% en todas las disciplinas), capacitación de los recursos humanos (55%) y publicaciones (aproximadamente 50%). Sin embargo, la productividad media de los grupos que se relacionan con universidades nacionales (0.58) es levemente inferior a los grupos en los que esa vinculación no existe (0.76). En ese marco, la productividad media es inferior en los grupos que no se vinculan tanto en TIC (0.17 vs. 0.22) como en nanotecnología (0.78 vs. 1.06), mientras que en biotecnología no hay diferencias significativas (1.23 vs. 1.32). Es decir, con la excepción de los grupos de biotecnología, la productividad académica parece ser más elevada cuando no hay vinculación con otras universidades.

Casi dos tercios de los grupos entrevistados tienen vinculaciones con universidades extranjeras, con un peso relativamente superior en los grupos de nanotecnología (69%), similar a la media en biotecnología (64%) y de 57% entre los grupos de TIC. Más de la mitad de los grupos se vinculan con universidades extranjeras, con objetivos similares a los de las vinculaciones con universidades nacionales (proyectos conjuntos, capacitación de recursos humanos y publicaciones). La productividad es similar entre los vinculados o no en nanotecnología, mientras que en biotecnología y TIC la productividad de los grupos que se vinculan es sustancialmente mayor.

A su vez, algo menos de la mitad de los grupos tienen vinculaciones de diverso tipo con otros organismos de ciencia y tecnología, mucho más significativas en biotecnología (66% de los grupos) que en TIC y nanotecnología, donde alcanzan al 36% de los grupos. En promedio, la productividad de los grupos que tienen este tipo de nexos (0.75) es significativamente superior a la correspondiente a aquellos que no se relacionan (0.50). Esto se explica básicamente por las diferencias en los grupos de TIC (0.24 vs. 0.15). En cambio, no se observan diferencias en los grupos de nanotecnología y en el caso de biotecnología donde la relación es inversa: los grupos que se vinculan tienen una productividad inferior (1.19) que los que no lo hacen (1.34).

Finalmente, algo más de un tercio de los grupos tienen conexiones con empresas privadas, destacándose los de TIC (39%) por sobre los de nanotecnología (25%) y biotecnología (28%). En términos agregados la productividad de los grupos que tienen vinculación con el sector productivo (0.49) es inferior a los que no desarrollan actividades de transferencia (0.68), lo que estaría indicando una relación inversa entre productividad y transferencia. En cuanto a las disciplinas, mientras en el caso de nanotecnología no hay diferencias significativas, los grupos de TIC ligados con empresas tienen un nivel de productividad mayor (0.21 vs. 0.15) y en los grupos de biotecnología la productividad de los que realizan transferencias (0.97) es significativamente inferior a los que no están relacionados con el sector privado (1.35). Estos resultados indican que la relación existente entre productividad académica y transferencia no es tan clara.

### Productividad y financiamiento

La productividad media de los grupos de investigación que tienen financiamiento de la universidad es 43% inferior a la de los restantes grupos. En el caso de biotecnología y TIC las diferencias son relativamente similares (41 y 47% inferiores, respectivamente), mientras que los grupos de nanotecnología con financiamiento universitario tienen una productividad 14% superior.

Por su parte, la productividad media de los grupos que tienen financiamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet) es casi 40% superior que los que no usaron esa fuente. Sin embargo, mientras en el caso de las TIC las diferencias de productividad son de casi cuatro veces, en los grupos de nanotecnología es apenas mayor y en biotecnología los financiados por el Conicet tienen una productividad 33% inferior a la de los grupos no financiados por esa fuente.

Cuando se considera el financiamiento del Foncyt se advierten diferencias significativas. Para el total de los grupos, la productividad media de los financiados por el Foncyt es casi tres veces superior. Sin embargo, mientras en los grupos de TIC la productividad es casi tres veces mayor, en biotecnología es levemente superior y en nanotecnología es menor.

Por su parte, el financiamiento que aportan las empresas se relaciona negativamente con la productividad, tal vez porque la transferencia se apli-

ca más a las compañías y limita las publicaciones derivadas. En promedio, en los grupos de TIC y de nanotecnología los que reciben financiamiento publican la mitad que los restantes, mientras que en los de biotecnología son solo 26% los de menor producción. Esto refleja que a diferencia de los otros dos casos, en biotecnología estar vinculado con empresas no constituiría un factor negativo en la productividad de los grupos.

## Taxonomía de grupos de investigación

Para complementar la estadística descriptiva se realizó un análisis de clúster que apunta a identificar grupos de investigación que son homogéneos en términos de ciertas características o aspectos estructurales. En particular, se consideraron las siguientes variables: la proporción de investigadores con título de doctor, la dependencia institucional, la fuente de financiamiento de los proyectos de investigación, donde se diferencian las universidades del Conicet y el Foncyt, y las vinculaciones con otros grupos o instituciones.

Como resultado de este análisis se identificaron cuatro clústeres (véase el cuadro 2). Los primeros dos nuclean grupos de TIC que se desempeñan en universidades, pero se diferencian según su vinculación: mientras que el primer clúster muestra una baja vinculación externa, el segundo está integrado por grupos de TIC con fuertes vínculos al exterior (Foncyt, empresas y universidades extranjeras). A su vez, en este segundo clúster aparecen representados los grupos que llevaron a cabo *spin-off*. La ausencia en estos dos clústeres de grupos de nano y biotecnología podría considerarse como un factor que da cuenta de la ausencia de procesos de convergencia a partir de la falta de elementos comunes de los grupos de TIC con los de bio y nanotecnología. El tercer clúster nuclea los grupos de nano y biotecnología con dependencia del Conicet y en el cuarto están representados los grupos de biotecnología que tienen como pertenencia institucional a las universidades, poniendo nuevamente de manifiesto la falta de elementos comunes con grupos de las otras disciplinas. Como resultado del análisis, solo el tercer clúster parece mostrar algún tipo de convergencia entre grupos de nano y biotecnología. Finalmente, como puede observarse en el cuadro 2, solo el clúster de TIC con vinculación externa se caracteriza por la presencia de grupos que se vinculan con

#### IV. Análisis de grupos de investigación de biotecnología

empresas, si bien también es de esperar que esto esté presente en el tercer clúster debido a la pertenencia de grupos que forman parte de consorcios público-privados financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Fondo Argentino Sectorial).

Cuando se analiza el desempeño académico se observa que la productividad científica va creciendo al pasar de los grupos de TIC a los de bio y nanotecnología (véase el cuadro 3). En particular, el clúster que nuclea grupos de investigación de biotecnología con pertenencia principal en la universidad (Bio-universidad), muestra los valores más altos en los tres indicadores de desempeño considerados: los grupos publicaron en promedio un artículo en el periodo 2010-2012 en revistas especializadas con un factor de impacto de 2.3 y con un promedio de tres citas por año. Por el contrario, el grupo de TIC con vinculación externa —el único de los clústeres que se caracteriza por tener vínculos con el sector privado— tiene una productividad académica significativamente más reducida que los clústeres de nano y biotecnología con pertenencia al Conicet y el Bio-universidad.

**Cuadro 2. Resultados del análisis de clúster y caracterización de los grupos**

	<i>TIC-Sin vinculación</i>	<i>TIC-Vinculación externa</i>	<i>Nano y bio-Conicet</i>	<i>Bio-universidad</i>
% de grupos	20	33	31	17
% de doctores	14	37	54	48
Foncyt	Baja	Alta	-	-
Vinculación con empresas	-	Alta	-	-
Vinculación con universidades extranjeras	-	Alta	-	-
	UTN (40%)	Spin-off	Fonarsec	
Otras características	Federal	Federal	Federal	Concentrado
	Sobresale:	Sobresalen:	CABA-Río Negro	Buenos Aires-CABA-Santa Fe
	Córdoba	Buenos Aires-CABA y Santa Fe		

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3. Taxonomía de grupos y desempeño académico**

	<i>TIC</i>	<i>TIC-vinculación externa</i>	<i>Nano y biotecnología-Conicet</i>	<i>Bio-universidad</i>
Productividad científica	0.08	0.32	1.21	0.98
Citas	0.37	0.94	2.98	1.78
Posicionamiento	0.10	0.23	0.31	0.24

Fuente: Elaboración propia.

## Relación entre productividad académica y vinculación con el sector productivo

Luego de mostrar la estadística descriptiva y los resultados del análisis de clúster, en esta sección se analiza desde una perspectiva econométrica si las vinculaciones con el sector privado de los grupos de investigación muestran algún tipo de asociación con el nivel de productividad académica alcanzado. En especial interesa saber si la cantidad promedio de publicaciones por investigador de cada grupo es mayor en los que declararon haber realizado actividades de transferencia al sector productivo. Esta relación ha sido ampliamente testeada por la literatura, encontrando resultados mixtos. Un conjunto de artículos, que estudian principalmente el caso de países desarrollados, muestra una relación positiva entre la excelencia académica y la interacción con la industria argumentando que la investigación constituye un factor clave que afecta las posibilidades de las universidades de contribuir en las actividades de innovación del sector productivo (Louis *et al.*, 1989; Mansfield, 1991; Mansfield y Lee, 1996; Tornquist y Kallsen, 1994, Zucker y Darby, 2007, para los Estados Unidos de América; Haeussler y Colyvas, 2011, para Alemania y el Reino Unido; Gulbrandsen y Smeby, 2005, para Noruega; Bekkers y Bodas, 2008, para los Países Bajos, y Lowe y Gonzalez-Brambila, 2007, para los Estados Unidos de América y Canadá).

Sin embargo, en países en desarrollo las instituciones públicas de investigación están mucho más orientadas a la investigación básica y las firmas no suelen considerar estas instituciones como contrapartes clave de sus actividades de innovación (Cimoli *et al.*, 2009; Lastres *et al.*, 2003).

Para realizar el análisis se controlaron las potenciales diferencias observables entre ambos grupos previas a la vinculación, y se propone un conjunto de covariables que incluye el tamaño del grupo, su antigüedad, la proporción de doctores, la productividad del periodo previo, la dependencia institucional, la presencia de distintas fuentes de financiamiento y la existencia de vinculaciones para I+D.

En primera instancia se utiliza una técnica no paramétrica basada en un test de diferencia de medias con emparejamiento previo de los grupos. Siguiendo a Hainmueller (2012), se utiliza un algoritmo de balance entrópico para crear un set de ponderadores que permiten empa-

rejar los grupos que brindaron servicios tecnológicos con aquellos que no lo hicieron. La estimación de las estadísticas de postemparejamiento para cada covariable revela que la diferencia de medias después del emparejamiento no arroja diferencia significativa y valida el set de ponderadores construido. El cuadro 4 presenta la productividad promedio del periodo 2010-2012 para los grupos de cada disciplina que realizaron actividades de transferencia y para aquellos que no lo hicieron. Como puede apreciarse, en todos los casos la diferencia de productividad entre ambos grupos no resulta significativa. Este resultado confirmaría que el desempeño académico de los grupos no está asociado con las actividades de transferencia.

**Cuadro 4. Diferencia de medias para la productividad del periodo 2010-2012**

Realizó actividades de transferencia	TIC		Nanotecnología		Biotecnología		Total	
	N (obs)	Mean	N (obs)	Mean	N (obs)	Mean	N (obs)	Mean
No	174	0.17	41	0.93	128	0.90	343	0.47
Sí	137	0.19	34	0.69	57	0.99	228	0.47
Total/Diferencia	311	0.02	75	-0.24	185	0.09	571	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ , +  $p < 0.1$

**Cuadro 5. Estimaciones Tobit para la variable *prod\_1012***

	I	II
Realizó actividades de transferencia	0.070 (0.085)	0.125 (0.101)
Transferencia Nanotecnología*		0.142 (0.196)
Transferencia Biotecnología*		-0.255 (0.204)
Disciplina = Nanotecnología	0.016 (0.183)	-0.030 (0.234)
Disciplina = Biotecnología	0.209 (0.149)	0.312* (0.182)
Constant	4.722 (7.261)	3.780 (7.175)
Observaciones	568	568

Se calcularon errores estándar robustos.

Nota 1: \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ , +  $p < 0.1$

Nota 2: En todas las estimaciones se controló por: a) tamaño, b) antigüedad, c) productividad previa, d) dependencia institucional, e) fuentes de financiamiento, y f) vinculaciones para I+D.

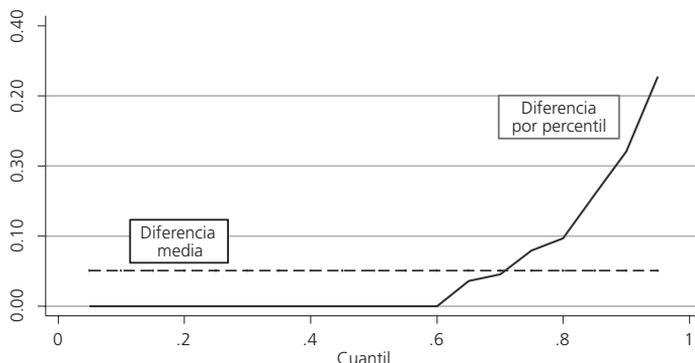
Adicionalmente, se utilizó una técnica paramétrica basada en una regresión por controles utilizando el conjunto de covariables ya especificado (véase el cuadro 5). Las estimaciones obtenidas muestran que las diferencias de productividad entre los grupos que hicieron transferencia y aquellos que no lo hicieron son prácticamente nulas. Ampliando la especificación anterior, la segunda columna —que reporta las estimaciones de acuerdo a la disciplina del grupo de investigación— revela también que no se hallan diferencias significativas en ningún caso.

Los resultados obtenidos, que son coincidentes y robustos, indican que las actividades de transferencia no están relacionadas con el desempeño académico de los grupos de investigación. Sin embargo, estos resultados deben matizarse al considerar dos fuentes de endogeneidad que, por falta de disponibilidad de datos, no se han podido corregir. En primer lugar, la variable binaria utilizada para identificar los grupos que realizaron transferencias al sector productivo —que toma el valor uno cuando el grupo realizó transferencia— podría considerarse como una proxy imperfecta con error de medición. Su inclusión en un modelo podría derivar en un sesgo a la baja en la estimación del impacto sobre la productividad académica, explicando la no significatividad de las estimaciones. En segundo lugar, dado que no se dispone de información sobre vinculaciones previas con el sector productivo, el sesgo de selección no se controla en toda su dimensión. No obstante la inclusión de la tendencia previa de la productividad académica podría aminorar esta fuente de endogeneidad en las estimaciones. En resumen, considerando estas cuestiones, la literatura reconoce que los resultados deberían ser interpretados en el terreno de una ausencia de asociación estadística y no leídos como evidencia para rechazar un impacto causal de las actividades de transferencia sobre la productividad científica.

Finalmente, para ampliar este diagnóstico se repitió la estimación paramétrica anterior utilizando una regresión por cuartiles que analiza si existe alguna asociación entre las actividades de transferencia y la productividad académica especificada por cuartiles. Nuevamente, los resultados muestran que no existe una asociación significativa entre ambos indicadores, si bien los coeficientes pasan de ser negativos a positivos. Es decir, mientras que en el decil de productividad más bajo los grupos que hicieron transferencia publican menos que los que no hicieron, en el decil más alto este resultado se invierte.

En la gráfica 2 se muestran los resultados del modelo anterior. En este caso, se observa con mayor claridad cómo la relación entre transferencia y productividad se vuelve positiva en los grupos de mayor productividad académica.

**Gráfica 2. Productividad 2010-2012 (en log). Distribución por cuantiles**



**Cuadro 6. Resultados de la regresión por cuantiles**

	OLS	Q(0.10)	Q(0.25)	Q(0.50)	Q(0.75)	Q(0.90)
Transferencia tecnológica	0.0425 (0.90)	-0.00444 (-0.35)	-1.12e-09 (-1.76)	3.10e-10 (0.17)	0.0194 (1.19)	0.0888 (1.38)
Disciplina = Biotecnología	0.0230 (0.17)	0.00157 (0.10)	0.0263*** (0.001)	0.109*** (0.004)	0.155*** (6.94)	0.0159 (0.15)
Disciplina = Nanotecnología	-0.155 (-0.99)	-0.0000142 (-0.00)	-3.34e-09** (-3.17)	-0.0356*** (-1.10e+07)	-0.0844** (-3.17)	-0.286* (-2.51)
Observaciones	568	568	568	568	568	568

Estadísticos t entre paréntesis.

Nota 1: \*\* p < 0.01, \* p < 0.05, + p < 0.1

Nota 2: En todas las estimaciones se controló por: a) tamaño, b) antigüedad, c) productividad previa, d) dependencia institucional, e) fuentes de financiamiento y f) vinculaciones para I+D.

## Conclusiones

En este capítulo hemos analizado la relación entre la productividad académica y las actividades de transferencia tecnológica en 581 grupos de investigación de biotecnología, nanotecnología y TIC pertenecientes a

instituciones públicas de Argentina. Para ello, se recurrió a diferentes técnicas de análisis de los datos a partir de la estadística descriptiva, el análisis de clústeres y estimaciones econométricas.

En términos generales, los resultados muestran una fuerte heterogeneidad que se manifiesta no solo entre las disciplinas analizadas sino también al interior de cada una de ellas. Esta heterogeneidad se pone de manifiesto en la ausencia de una relación clara entre productividad académica y transferencia y, por tanto, de convergencia entre los grupos, lo que contrasta con la mayor parte de la evidencia realizada para países desarrollados, donde la asociación suele ser positiva y significativa (Casalet, 2014).

Una posible causa puede encontrarse en el desinterés de los grupos de investigación más avanzados en generar procesos de retroalimentación con el sector privado. En particular, esta explicación aplica a los casos en los que existe una elevada distancia cognitiva entre los sectores académico y productivo que impide que se establezca una vinculación virtuosa. Otra posible razón está relacionada con el predominio de investigación básica llevada a cabo por el sector académico argentino. En esa dirección el trabajo pone de manifiesto la necesidad de revisar los esquemas de incentivos a la investigación académica y de desarrollar distintas formas de intermediación entre universidad e industria para identificar potenciales contrapartes de una vinculación y facilitar formas de interacción más cercanas al modelo no lineal de innovación. A la vez, los resultados sugieren la necesidad de mejorar las capacidades tecnológicas de las contrapartes empresariales, lo que requiere que las políticas orientadas a mejorar la vinculación universidad-empresa se relacionen en mayor medida con el diseño de políticas industriales y tecnológicas que apuntan a mejorar significativamente las capacidades de las empresas privadas.

Alcanzar interacciones que van en la dirección de las recomendaciones del modelo no lineal de innovación requiere considerar que la relación universidad-empresa puede tenerse en cuenta como una propiedad emergente de un sistema complejo. Por tanto, esa propiedad se manifiesta en forma virtuosa cuando se opera no solo sobre los incentivos a la investigación sino además cuando se trabaja con todos los actores y agentes privados y públicos involucrados en esa interrelación y se identifican actores ausentes o con poca influencia que deberían ser ob-

jetivo de política industrial y tecnológica. Para finalizar, los resultados del análisis realizado en este capítulo sugieren la ausencia de convergencia de las tres tecnologías consideradas. En primer lugar, de los cuatro clústeres identificados solo uno se conforma de grupos de investigación pertenecientes a diferentes tecnologías (bio y nano), mientras que en los restantes la disciplina parece ser una variable diferenciadora que separa los grupos de investigación. En segundo lugar, la heterogeneidad en términos del desempeño académico de los grupos entre y dentro de cada disciplina refleja la presencia de una elevada distancia cognitiva que puede constituir un obstáculo importante para generar dicha convergencia. En tercer lugar, la débil articulación de los grupos de investigación con el sector productivo da cuenta de la existencia de un sistema nacional de innovación fragmentado que también obstaculiza la convergencia de tecnologías. En parte, esta desarticulación obedece a la ausencia de demandas del sector productivo. La presencia de firmas especializadas en tecnologías de punta donde las posibilidades de que confluyan las TIC, la nanotecnología y la biotecnología es débil en nuestro país y las políticas tecnológicas orientadas a promover su desarrollo en el sector productivo son relativamente recientes. En tal sentido, la difusión del paradigma actual es aún limitada en Argentina y el escaso nivel de desarrollo de las capacidades tecnológicas y organizacionales de las firmas es una de las principales razones.

## Referencias

- Agrawal, Ajay (2001). "University to Industry Knowledge Transfer: Literature Review and Unanswered Questions", *International Journal of Management Reviews*, vol. 3, núm. 4, pp. 285-302.
- Arocena, Rodrigo y Judith Sutz (2006). "El estudio de la innovación desde el Sur y las perspectivas de un nuevo desarrollo", *CTS+ I: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, vol. 7, p. 1.
- Bains, William (2005). "How Academics Can Make (Extra) Money Out of Their Science", *Journal of Commercial Biotechnology*, vol. 11, núm. 4, pp. 353-363.
- Bekkers, Rudi e Isabel María Bodas Freitas (2008). "Analysing Knowledge Transfer Channels Between Universities and Industry: To What Degree do Sectors Also Matter?", *Research Policy*, vol. 37, núm. 10, pp. 1837-1853.

- Bercovitz, Janet y Maryann Feldmann (2006). "Entrepreneurial Universities and Technology Transfer: A Conceptual Framework for Understanding Knowledge-Based Economic Development", *Journal of Technology Transfer*, vol. 31, núm. 1, pp. 175-188.
- Casalet Ravenna, Mónica (2014). *Nueva institucionalidad para la innovación en América Latina: Efectos de la manufactura avanzada*, México, Flacso [en línea]. Disponible en <<https://www.researchgate.net/publication/303518695>>, consultado en octubre del 2014.
- Cimoli, Mario, Giovanni Dosi y Joseph E. Stiglitz (2009). *Industrial Policy and Development: The Political Economy of Capabilities Accumulation*, Oxford University Press.
- Cohen, Wesley, Richard Nelson y John Walsh (2002). "Links and Impacts: the Influence of Public Research on Industrial R&D", *Management Science*, vol. 48, núm. 1, pp. 1-23.
- Crowe, Jessica y Jessica Goldberg (2009). "University-Industry Relationships in Colleges of Agriculture and Life Sciences: the Role of Women Faculty", *Rural Sociology*, vol. 74, núm. 4, pp. 498-524.
- D'Este, Pablo y Parthiv Patel (2007). "University-Industry Linkages in the UK: What are the Factors Underlying the Variety of Interactions with Industry?", *Research Policy*, vol. 36, núm. 9, pp. 1295-1313.
- Di Gregorio, Dante y Scott Shane (2003). "Why do Some Universities Generate More Start-Ups than Others?", *Research Policy*, vol. 32, núm. 2, pp. 209-227.
- Edler, Jakob, Hedio Fier y Christof Grimpe (2011). "International Scientist Mobility and the Locus of Knowledge and Technology Transfer", *Research Policy*, 40(6), pp. 791-805.
- Fontana, Roberto, Aldo Geuna y Mireille Matt (2006). "Factors Affecting University-Industry R&D Projects: The Importance of Searching, Screening and Signaling", *Research Policy*, vol. 35, núm. 2, pp. 309-323.
- Gulbrandsen, Magnus y Jens-Christian Smeby (2005). "Industry Funding and University Professors' Research Performance", *Research Policy*, vol. 34, núm. 6, pp. 932-950.
- Haeussler, Carolin y Jeannette Colyvas (2011). "Breaking the Ivory Tower: Academic Entrepreneurship in the Life Sciences in UK and Germany", *Research Policy*, vol. 40, núm. 1, pp. 41-54.
- Hainmueller, Jens (2012). "Entropy Balancing for Causal Effects: A Multivariate Reweighting Method to Produce Balanced Samples in Observational Studies", *Political Analysis*, vol. 20, núm. 1.

- Lam, Alice (2005). "Work Roles and Careers of R&D Scientists in Network Organizations", *Industrial Relations*, vol. 44, núm. 2, pp. 242-275.
- Lastres, Helena y Maria Lucia Maciel (eds.) (2003). *Systems of Innovation and Development: Evidence from Brazil*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar.
- Lee, Yong (1996). " 'Technology Transfer' and the Research University: a Search for the Boundaries of University-Industry Collaboration", *Research Policy*, vol. 25, núm. 6, pp. 843-863.
- Louis, Karen, David Blumenthal, Michael Gluck y Michael Stoto (1989). "Entrepreneurs in Academe: an Exploration of Behaviors Among Life Scientists", *Administrative Science Quarterly*, vol. 34, núm. 1, pp. 110-131.
- Lowe, Robert y Claudia Gonzalez-Brambila (2007). "Faculty Entrepreneurs and Research Productivity", *The Journal of Technology Transfer*, vol. 32, núm. 3, pp. 173-194.
- Lubango, Louis y Anastassios Pouris (2007). "Industry Work Experience and Inventive Capacity of South African Academic Researchers", *Technovation*, vol. 27, núm. 12, pp. 788-796.
- Mansfield, Edwin (1991). "Academic Research and Industrial Innovation", *Research Policy*, vol. 20, núm. 1, pp. 1-12.
- Mansfield, Edwin y Jeong-Yeon Lee (1996). "The Modern University: Contributor to Industrial Innovation and Recipient of Industrial R&D Support", *Research Policy*, vol. 2, núm. 7, pp. 1047-1058.
- Roessner, Juan (1993). "What Companies Want from the Federal Labs", *Issues in Science and Technology*, vol. 1, núm. 1, pp. 37-42.
- Schartinger, Doris, Andreas Schibany y Helmut Gassler (2001). "Interactive Relations Between University and Firms: Empirical Evidence for Austria", *Journal of Technology Transfer*, vol. 26, pp. 255-268.
- Shane, Scott y Toby Stuart (2002). "Organizational Endowments and the Performance of University Start-ups", *Management Science*, vol. 48, núm. 1, pp. 154-170.
- Shane, Scott y Toby Stuart (2000). "Organizational Endowments and the Performance of University Start-ups", mimeo, University of Maryland.
- Teixeira, Aurora y Luisa Mota (2012). "A Bibliometric Portrait of the Evolution, Scientific Roots and Influence of the Literature on University-Industry Links", *Scientometrics*, vol. 93, pp. 719-743.
- Tornquist, Kristi y Lincoln Kallsen (1994). "Out of the Ivory Tower: Characteristics of Institutions Meeting the Research Needs of Industry", *Journal of Higher Education*, vol. 6, núm. 5, pp. 523-539.

Zucker, Lynne y Michael Darby (2007). "Star Scientists, Innovation and Regional and National Immigration", Working Paper No. 13547, *National Bureau of Economic Research*.

Zucker, Lynne y Michael Darby (1996). "Star Scientists and Institutional Transformation: Patterns of Invention and Innovation in the Formation of the Biotechnology Industry", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 93, núm. 23, pp. 12709-12716.

## Apéndice estadístico

**Cuadro 1. Niveles de productividad académica de grupos de investigación TIC, nanotecnología y biotecnología con diversos tipos de vinculación**

	TIC	Nanotecnología	Biotecnología	Total
Total	0.176	0.866	1.245	0.612
Grupos vinculados con:				
a) Empresas	0.215	0.885	0.969	0.486
b) Universidades nacionales	0.168	0.784	1.229	0.580
c) Universidades privadas	0.117	0.308	0.941	0.316
d) Universidades extranjeras	0.261	0.868	1.077	0.630
e) Vinculación con instituciones públicas	0.245	0.835	1.196	0.748

**Cuadro 2. Niveles de productividad de grupos no vinculados**

	TIC	Nanotecnología	Biotecnología	Total
Grupos no vinculados con:				
a) Empresas	0.146	0.859	1.353	0.678
b) Universidades nacionales	0.221	1.056	1.322	0.757
c) Universidades privadas	0.193	0.873	1.289	0.671
d) Universidades extranjeras	0.062	0.860	1.548	0.584
e) Vinculación con instituciones públicas	0.136	0.883	1.340	0.498

Segunda parte

**Convergencia en el campo de aplicación  
de fabricación avanzada: el sector aeroespacial**



## V. Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial

*Mónica Casalet Ravenna\**

A pesar de los avances que se han logrado en la apropiación de los nuevos paradigmas y en el diseño de las políticas públicas para fomentar el acceso a nuevas tecnologías (tecnologías de la información y la comunicación —TIC—, biotecnología, nanotecnología, manufactura avanzada o digitalizada) surgen múltiples interrogantes sobre la capacidad de absorción de los nuevos conocimientos, como la efectividad institucional de los países emergentes para orientar y asimilar la incorporación de estos avances. La digitalización de la economía y la sociedad se dirige a todos los sectores con un carácter disruptivo. Para los países emergentes es un desafío complejo apropiarse de los beneficios y fortalecer los vacíos de las cadenas de valor locales a las nuevas exigencias. La digitalización de la producción —referida como “manufactura o fabricación avanzada”, “industria 4.0” e “internet industrial”— plantea una nueva integración del proceso productivo de principio a fin: no es un acompañamiento más de las operaciones productivas, sino que se determinan nuevos procesos con la intervención de la inteligencia artificial y el manejo de datos.

El interés de este capítulo es reflexionar sobre los cambios en la producción industrial que surgen con los avances de la digitalización y los procesos de interconexión extrema que posibilitan la creación de nuevos productos y procesos inteligentes conectados y de servicios asociados de alto valor agregado y potencial en toda la cadena de valor.

---

\* Doctora en Sociología del Desarrollo por la Universidad de Ginebra, Suiza. Profesora investigadora de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede México.

Las derivaciones de la integración del conocimiento con la producción son múltiples, con efectos en dimensiones como la gestión, la formación profesional y el trabajo de investigación. Las exigencias del proceso productivo actual plantean un trabajo cada vez más colaborativo, que integra equipos multidisciplinarios ligados con la industria. Los nuevos retos alcanzan también a la evaluación del rendimiento académico, enfatizando el contenido aplicado de la investigación. El prestigio individual y el desempeño aislado ya no son determinantes como en el modelo lineal de innovación; la habilidad para apoyar el desarrollo técnico de un equipo requiere una visión más colaborativa, multidisciplinaria y orientada hacia contenidos de investigación más aplicados a las posibilidades de crecimiento del país y a impulsar la productividad.

El enfoque de la convergencia del conocimiento y las tecnologías proporciona una explicación para dar cuenta de los nuevos caminos de la innovación donde la colaboración transdisciplinaria abre nuevas redes e interfaces entre disciplinas (biotecnología, nanotecnología, TIC, ciencias cognitivas); la interrelación de visiones y metodologías transmite otros impulsos para entender los desarrollos tecnológicos e interpretar los nuevos campos de aplicación que surgen y se articulan en dimensiones organizativas, de infraestructura técnica basada en la conectividad y de negocios. El término *convergencia* es nuevo en la construcción de explicaciones para la innovación. A pesar de la extensa literatura procedente de varios países desarrollados (Estados Unidos de América, Alemania, Japón, Corea y China), en México es casi desconocido, incluso para investigadores que están trabajando en áreas donde confluyen diversas disciplinas.

Este análisis tiene como referencia un eje básico que es la digitalización de la producción anclada en el paulatino crecimiento de la manufactura avanzada, internet industrial y de la industria 4.0, que son la consecuencia del incremento de las capacidades de comunicación, de procesamiento y de interacción con el entorno, con costos que se reducen de forma exponencial, con la emergencia de un trabajo colaborativo que enlaza los dispositivos y los agentes. La computación ubicua permite la monitorización de parámetros, así como el acceso a servicios de computación y comunicación en cualquier momento y lugar (Navarro y Sabalza, 2016; Iturriaga, 2015; McKinsey Global Institute, 2012). En un nivel más específico, se analizan los efectos de la problemática de la convergen-

cia en un campo de aplicación que es la digitalización de la producción en el sector aeroespacial.

Entre las acciones que construyeron un ecosistema relacional se destacan: *a)* las decisiones adoptadas a nivel público y privado en el diseño de programas y proyectos para la mejora de la estructura industrial de los países industrializados, a través del estímulo a la colaboración a nivel productivo y de investigación; *b)* las iniciativas de investigación para crear nuevas plataformas y conectividad realizadas por las organizaciones internacionales especializadas, y *c)* las actividades de investigación y desarrollo emprendidas por empresas del sector aeronáutico. Las estrategias implementadas constituyen una referencia en este análisis. Por un lado, permiten valorar la eficacia y oportunidad de las orientaciones adoptadas en el fortalecimiento de la competitividad nacional y sectorial. Por otro, sirven de guía para considerar la importancia de las tareas que deben emprender los países emergentes para incidir en nuevos posicionamientos que impactan el mejor uso del conocimiento y remodelan las orientaciones sobre la formación, la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en todas sus formas.

## **Aspectos claves de la nueva problemática**

La complejidad de la producción actual determina que el proceso de fabricación se sustente en innovación, creatividad y una amplia colaboración entre las empresas y las universidades para hacer efectivas nuevas soluciones a las necesidades básicas y de crecimiento de la sociedad. La resolución de esos desafíos complejos requiere enfoques multidisciplinarios que utilicen intensivamente la convergencia tecnológica enlazando el desarrollo de las TIC, la biotecnología, la nanotecnología y la manufactura digital para introducir materiales de vanguardia que cambien las formas de elaboración de los productos existentes. Estas tecnologías derivadas del incremento de las capacidades de comunicación, de procesamiento y de interacción con el entorno tienen una gran versatilidad para abordar la complejidad y funcionan con éxito tanto en escalas pequeñas, como la biotecnología, o grandes, como la construcción de casas y puentes, también es el caso de la fabricación aditiva o 3D (Casalet, 2015).

La importancia del enfoque de la convergencia adquiere significación por los importantes cambios ocurridos en la transformación industrial, organizativa y de negocios, incluyendo costos, calidad, flexibilidad y reducción de tiempos. Un elemento significativo es la transversalidad de la informática y la implicación creciente en todos los sectores industriales y de servicios, de tal suerte que introduce grandes cambios y recomposiciones que impactan en diferentes industrias, generando nuevas complementariedades, productos y mercados.

El nuevo paradigma productivo basado en la convergencia del conocimiento y las tecnologías diluye los límites entre industrias, contribuye a la resolución de los desafíos complejos de la producción, crea nuevos nichos de especialización y genera otras formas de gestión y comercialización. El proceso de diversificación y especialización del conocimiento se intensificó con el avance de la globalización y los cambios provocados por la utilización de la ciencia en la producción, los efectos se manifiestan en la generación de una frontera difusa entre disciplinas (Hacklin y Wallin, 2013; Lee *et al.*, 2010). En la configuración del conocimiento se consolida un proceso de especialización-fragmentación-hibridación (Dogan y Phare, 1990; Roco y Bainbridge, 2001, Curran *et al.*, 2010), donde la multidisciplinariedad incide como una forma relevante en la creación de nuevos campos de conocimiento. Las políticas públicas diseñadas en varios países industrializados han asegurado esta variedad de disciplinas, la colaboración entre ellas para asegurar la interoperabilidad entre empresas y proveedores, y reforzar las conexiones entre los sectores productivos y la investigación, donde se agrega la emergencia de nuevas modalidades de intervención y medición de resultados alcanzados por el trabajo en colaboración.

La convergencia del conocimiento y la tecnología se define como la interrelación entre diferentes disciplinas; no es un evento fortuito, sino la consecuencia de la diversificación y especialización, aunado al crecimiento de la complejidad económica, productiva y societal, cuyas demandas propician respuestas orientadas a la integración de diferentes disciplinas para resolver estos problemas (Hacklin y Wallin, 2013). En la definición del concepto de convergencia se contempla la interacción de múltiples campos del conocimiento que se articulan y dan lugar a nuevas dimensiones organizativas, tecnológicas y sectoriales, aunque conservan un núcleo de competencias que actúan como guía tecnológica (Giorgi y Luce, 2007).

En la identificación de los aspectos básicos de la problemática de la convergencia Roco y Bainbridge (2001) y Nordmann (2004) señalan que es un proceso que se extiende y transforma las modalidades de intervención de diferentes disciplinas, que tradicionalmente funcionaron separadas. La proliferación de conexiones, los impactos de la globalización y la necesidad de proporcionar nuevas respuestas a la producción y demandas sociales fueron creando nuevas interacciones, capacidades y comportamientos relacionales. Estas interrelaciones facilitaron la investigación y el desarrollo en vinculación con los grupos productivos, definiendo nuevas oportunidades para articular los enlaces en las cadenas de valor. A su vez conformaron nuevos nichos de conocimiento con un carácter colaborativo y de mercado valorizando la emergencia de nuevas industrias y clústeres. Este desarrollo afectó los servicios, los mercados, las políticas de desarrollo, la estructura industrial y el comportamiento empresarial facilitando alianzas y fusiones. La integración del conocimiento en los intersticios de las diferentes disciplinas constituye un desafío crítico para la innovación y la gestión (Wallin, 2012). Las disciplinas convergen en un nuevo campo híbrido, no es un proceso unidireccional, la convergencia supone la divergencia que se inicia antes de la formación de los nuevos sistemas integrados y lidera nuevas competencias, productos y áreas de aplicación sin que las industrias implicadas se vuelvan similares. La multidisciplinariedad surge como una forma relevante para la búsqueda de nuevas soluciones, sostenida en algunos países industrializados por los programas implementados en las políticas públicas (industrial, de investigación y desarrollo, de formación de capacidades) que introducen complementariedades entre diferentes industrias o dentro de subsectores de una industria (Hacklin, 2007). Este movimiento consolida una nueva forma para medir resultados especialmente en los grupos de investigación. Los diferentes enfoques que estudian el estado del arte de la convergencia (Estados Unidos de América, la Unión Europea, Corea del Sur) destacan la importancia de esta dimensión multidisciplinaria para el conocimiento, que facilita la colaboración intra e interciencia. La apropiación de este paradigma supone un aprendizaje organizacional (para empresas, institutos de investigación, universidades y fundamentalmente, la comunidad académica) y una exploración de nuevas áreas de negocios, como la introducción de nuevos productos y servicios con una visión integrada. Este proceso no es reciente, aunque la globalización, la

interconexión de diferentes áreas de conocimiento e industrias (agricultura, manufactura, salud, servicios) han favorecido la expansión nacional, regional y global.

La importancia de la convergencia tecnológica constituye un aspecto dominante en las nuevas generaciones de innovaciones en el área, y esta percepción ha sido asumida por múltiples gobiernos de países industrializados que adoptaron programas e instrumentos para hacer efectivas las dimensiones que consolidan la investigación y la colaboración con los sectores productivos. Para sostener esta última se profundizaron nuevos sistemas que permiten la coordinación y evaluación de procesos, como la interoperabilidad.

La complejidad de la producción requiere que las empresas den respuestas a diferentes demandas de ingeniería, diseño, mecánica y problemas eléctricos, considerando la formación de equipos de trabajo con capacidad y competencias multidisciplinarias. Una herramienta para sostener la colaboración, los cambios en la producción y la coordinación con equipos distantes es la interoperabilidad. Durante más de una década ha reunido fondos públicos y privados para desarrollar proyectos y programas que analicen sus aplicaciones, dimensiones y funcionalidades (Van Wijik *et al.*, 2009). Esta característica, según la European Interoperability Framework (EIF), es la habilidad de los sistemas de TIC, y de los procesos de negocios que estos sistemas soportan, de intercambiar datos y posibilitar condiciones para compartir información y conocimiento. Un marco o arquitectura de interoperabilidad puede ser definido como un conjunto de estándares y directrices que describen la forma por la cual organizaciones han acordado o pueden acordar interactuar unas con otras. Por lo tanto, dicho marco no es un documento estático, puede adaptarse con el tiempo, con los cambios tecnológicos, estándares y requerimientos administrativos (Moreno *et al.*, 2007; Popplewell, 2011). El término global de interoperabilidad incluye diferentes dominios, como organizacional, referido a los objetivos de los negocios, la modelación de los procesos de negocios y facilitar la colaboración de la información. Además puede asumir diferentes estructuras y procesos internos. La interoperabilidad semántica asegura que el significado preciso de la información intercambiada es entendible sin ambigüedad por todas las aplicaciones que intervienen y habilita a los sistemas para combinar información recibida con otros recursos de información y procesar-

los. La interoperabilidad técnica interconecta sistemas computacionales y de servicios, incluyendo aspectos claves como interfaces abiertas, servicios de interconexión, integración de datos y *middleware*. La gobernanza de la interoperabilidad se refiere a la forma de alcanzar acuerdos entre gobiernos, empresas y otros actores (Van Wijik *et al.*, 2009; Moreno *et al.*, 2007).

Un aspecto clave en el desarrollo de la ingeniería colaborativa es la base proporcionada por la interoperabilidad de diferentes sistemas como PLM generalizado a nivel de proveedores, usuarios de la cadena de producción y otros actores externos. Las colaboraciones se realizan mediante los sistemas PLM y PPO Kernel (para asegurar la coherencia entre los datos) (Van Wijik *et al.*, 2009).<sup>1</sup>

### **Estrategias públicas claves en programas de convergencia de conocimiento y colaboración interinstitucional**

En el nuevo paradigma convergente, la manufactura digitalizada rediseñó la organización de la producción, la estructura institucional y relacional de los países industrializados (Estados Unidos de América, Corea del Sur, Alemania, Japón) que consolidaron una integración y *overlapping* entre sectores e industrias por el incremento de la conectividad y compatibilidad. Para impulsar estos cambios se establecieron múltiples políticas estratégicas orientadas a desarrollar programas de I+D, reforzar la creación de fondos públicos con la finalidad de estimular la investigación en colaboración estrecha con los sectores productivos. En casi todos los países industrializados mencionados se ha

---

<sup>1</sup> PLM (Product Lifecycle Management) permite la colaboración entre diferentes sistemas expertos, ligados a 3D. Las críticas plantean que no abarca suficientemente la multidisciplinariedad de representaciones. PPO Kernel (Product, Process, and Organization):

- CAx collaboration: Computer Aided-x, la x se pone para sustituir diseño, manufactura, ingeniería y planeación. Tiene que ver con una colaboración para el desarrollo de tecnología asistida por computadora.
- ERP: Enterprise Resource Planning es un software de gestión empresarial que hace eficientes los procesos administrativos de una empresa.

logrado dinamizar la estructura institucional para alcanzar nuevas metas en la formación profesional y técnica que garanticen la adquisición de otras competencias, como las conexiones multidisciplinarias que evolucionan desde el funcionamiento separado por disciplinas hacia un trabajo colaborativo sostenido en plataformas y artefactos digitales. La creación del Programa Nacional de Manufactura Avanzada de Estados Unidos de América ilustra la importancia de las medidas adoptadas, dado el papel crítico que representa la manufactura en la economía de ese país y la contribución a la innovación, el empleo y la importancia en un sector básico de la economía: las pequeñas y medianas empresas (pymes). Esta estrategia de digitalización y reindustrialización se desgrega en varios niveles, entre los que se destacan: *a*) el control de las ventajas competitivas en los países asiáticos, con sistemas impositivos basados en incentivos para abaratar costos para los productores estadounidenses; *b*) una revisión del sistema de normas y regulaciones que pueden afectar los niveles de productividad y actuar como un desestímulo a la inversión extranjera en el sector manufacturero del país; *c*) el aumento del volumen y la calidad del gasto en investigación y desarrollo del sector manufacturero. El aumento de la inversión en 50% está centrado en actividades de manufactura de alta tecnología y el sector emergente de servicios tecnológicos de creciente importancia por el impacto transversal. Paralelo al aumento de la inversión, se procuró ajustar la composición del gasto en innovación y desarrollo, enfatizando los planes de largo plazo, las tecnologías disruptivas y la diversificación del portafolio para las tecnologías emergentes; *d*) la difusión de un creciente número de clústeres tecnológicos, que no solo ofrezcan un espacio físico común para los emprendimientos, sino también un portafolio de investigaciones y de manejo que faciliten el contacto cara a cara considerado central en las etapas iniciales de los procesos de innovación (Casalet, 2014); *e*) el cambio en la estrategia comercial frente a los países asiáticos, a través de la remoción de las barreras arancelarias y manipulaciones de precios que elevan la competitividad, en especial de China. Esta nueva estrategia involucra el establecimiento de alianzas con países del este de Asia y el Pacífico para aumentar el intercambio comercial dentro de un conjunto de reglas más transparentes en la fijación de precios. Parte de esta política comercial representa una agresiva política de protección de la propiedad intelectual del sector manufacturero esta-

dounidense, y f) mejorar las capacidades de la fuerza de trabajo del sector manufacturero, en especial en las áreas de ingeniería, matemáticas y ciencias, las cuales constituyen conocimientos indispensables en los sectores manufactureros avanzados (Department of Commerce Manufacturing Council Advisory Committee, 2008; Zhang y Li, 2010; Ezell y Atkinson, 2011).

La Oficina para la Implementación del Programa de Manufactura Avanzada coordina la orientación y aplicación de la estrategia en estrecha colaboración con la industria y la academia, con la finalidad de elaborar escenarios de futuro para una aplicación efectiva de la estrategia nacional basada en previsiones económicas y *foresight* sobre diferentes áreas (defensa, energía, salud, seguridad, economía y mercados globales), a través de un proceso interactivo de comunicación continua y elaboración de documentación conjunta entre la industria, la academia y el gobierno. La elaboración de mapas de rutas críticas constituye una herramienta en la prosecución de objetivos específicos de un programa de largo plazo, con fondos estables, para desarrollar las capacidades necesarias a nivel de la investigación y la creación de una estructura organizacional capaz de coordinar efectivamente la transferencia de tecnología e involucrar creativamente a los trabajadores. El gobierno desempeñó en esta fase un papel fundamental para orientar la investigación y la infraestructura, con el interés de articular una economía en red. Los desafíos están dirigidos a varios niveles (macroeconómico, orientado a los sectores que se quieren consolidar y las empresas que se busca privilegiar, especialmente pymes) canalizando los apoyos hacia la I+D, la formación continua e integral (jóvenes y veteranos) de los trabajadores, la orientación de la inversión productiva reconstruyendo los mecanismos para crear y compartir las mejoras de productividad (PCAST, 2011).

Alemania constituye otro ejemplo ilustrativo, como un caso de éxito, entre los países de industrialización temprana, además de una referencia para los decisores de política pública del Reino Unido y Francia. Alemania ha consolidado una capacidad para identificar y posicionarse en aquellos sectores y eslabones que concentran el mayor valor agregado. El papel desempeñado en las “industrias limpias” con producción de bienes y productos “ecológicamente amigables” en diferentes ramas de la industria manufacturera es altamente requerido tanto por los consumidores como por las normativas nacionales e internacionales.

Dentro de las prioridades de la política pública se seleccionaron algunas áreas de conocimiento, que son insumos centrales para el desempeño del sector manufacturero.

El éxito en este sector alemán no es accidental, en el diseño e implementación de las políticas públicas el gobierno federal jugó un papel destacado, al estimular la formación de redes de I+D. El uso de internet de las cosas (IoT) posibilitó la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión física y virtual. A su vez, el papel asignado al aprendizaje continuo de los trabajadores es compartido y asumido por los actores sociales, las empresas tienen un acceso estable a las finanzas y la fuerte protección de los trabajadores permite asumir decisiones para fortalecer la competitividad en el largo plazo. El proyecto industria 4.0 constituye una estrategia de alta tecnología que describe los cambios en la industria y los modelos de negocios de Alemania. Las tecnologías de la información se convierten en una parte integral del producto, reconfiguran las cadenas de valor y añaden nuevas actividades como análisis de datos y seguridad. La digitalización de la producción y la reorganización del trabajo en los sectores aeroespacial y automotriz con localizaciones en regiones distantes ejemplifica la oportunidad de resolver problemas mediante la aplicación de sistemas ciberfísicos<sup>2</sup> a la producción, aunando máquinas inteligentes, sistemas de almacenamiento de la información y equipos de producción capaces de intercambiar información autónomamente, lanzar acciones y controlarse mutuamente (Iturriaga, 2015; Mendikoa *et al.*, 2008; Gilchrist, 2016; Acatech, 2011). Los objetivos de la estrategia de la industria 4.0 se orientan a la integración de las TIC con los medios de producción y la creación de nuevos mercados para las tecnologías y productos. Estos sistemas ciberfísicos aumentan la demanda de medios inteligentes y elevan la exigencia de sus prestaciones al posibilitar la creación de nuevos modelos de negocios (Brettel *et al.*, 2014, Menon *et al.*, 2016). Con la información derivada de modelos y sistemas ciberfísicos se pueden controlar eficazmente máquinas y procesos. Al conocer la capacidad de fabricación de los diferentes elementos, las empresas cuentan con mayor información para calcular la eficiencia de toda la capacidad instalada, y a su vez, el

---

<sup>2</sup> cps (combinación de los sistemas y procesos físicos con sistemas de monitorización, actuación, computación en red).

mantenimiento se vuelve más eficiente, ya que las reparaciones se realizan solo cuando son necesarias. La información histórica de los modelos Cyber-Physical Systems (CPS) puede retroalimentar a los fabricantes de equipo original (OEM, por sus siglas en inglés) (Lee, 2016).

Las redes de intercambios de información y formación tienen larga trayectoria en Alemania. Las redes de I+D incluyen empresas, universidades, institutos público-privados, centros de investigación (Fraunhofer Institutes), institutos de investigación corporativa, escuelas vacacionales y sindicatos. La cooperación entre empresas, trabajadores e institutos de investigación tiene una larga trayectoria que facilita la innovación en múltiples industrias. Estas redes interinstitucionales son especialmente fuertes en robótica y diseño industrial, área en la que Alemania es líder (Ezell y Atkinson, 2011; German Innovation, 2011; Baghdjian, 2012).

Este país cuenta con más 750 instituciones de investigación públicas, algunas federales y otras a nivel de los *länder*, que cumplen un papel activo para regular el funcionamiento de las pymes. Las empresas alemanas utilizan la investigación universitaria y de las organizaciones técnicas, tanto públicas como privadas, para manejar los esfuerzos de innovación y las estrategias comerciales. Estas instituciones cuentan con apoyos gubernamentales a través de múltiples iniciativas, como High-Tech Strategy, The Higher Education Pact, Excellence Initiative y The Joint Initiative for Research and Innovation.

## **Convergencia de conocimientos y tecnología en el sector aeroespacial**

El interés de esta sección es profundizar en los efectos de la digitalización de la producción en la industria aeroespacial, donde el uso y coordinación de información, automatización, software, sensorica e interconexión proporcionan una nueva dimensión para el trabajo en colaboración. El apoyo determinante de diferentes softwares y programas sostienen las plataformas de interoperabilidad entre sistemas, tareas, procesos y las relaciones intra e interempresas de la cadena de producción y con el entorno. El sector aeroespacial no solo tiene una amplia interacción transdisciplinaria, sino que es líder en la implementación de tecnologías, procesos y metodologías para integrar el ciclo de

producción desagregado en múltiples niveles (*tiers*), generalmente localizados en diferentes espacios geográficos. La activa competencia entre países industrializados y emergentes presiona a los gobiernos y a las empresas para adoptar respuestas innovadoras en la resolución de los problemas de seguridad, reducción de tiempos, contaminación, aplicación de tecnologías avanzadas que mejoren los procesos de producción en las OEM y en la cadena de proveedores. La aplicación de un enfoque convergente no solo borra las fronteras entre industrias combinando conocimientos científicos, tecnologías y mercados, sino que se crean nuevos procesos para resolver los obstáculos de una producción de alta complejidad y geográficamente distribuida. Estas perspectivas abren nuevas formas organizativas de producción y gestión del trabajo con una visión más colaborativa, mejorando la comunicación y la gestión de los procesos. Las nuevas herramientas y desarrollos que emergen en la investigación de organizaciones rectoras a nivel internacional orientan programas especializados para ahondar en la colaboración basada en la digitalización. La NASA (Administración del Espacio y Aeronáutica Nacional), y la Comisión Europea, a través de múltiples instancias como el ACARE (Consejo Asesor para la Investigación Aeronáutica en Europa) y los programas Marco, han orientado y continúan en la búsqueda de nuevos procesos para el sector.

Las orientaciones emprendidas en los últimos años por la NASA se concentran en mejorar la movilidad y las disponibilidades de energía y eficiencia, especialmente la seguridad nacional del sector aeronáutico, mejorando el entorno para el desarrollo de la ingeniería colaborativa. Tanto los Estados Unidos de América como la Unión Europea, por medio de los programas implementados, buscan dar respuesta a una visión más integrada, especialmente del diseño con la producción, que involucre altas competencias, acceso rápido a través de fronteras, asegurando la calidad y la entrega eficiente. La industria aeronáutica es altamente multidisciplinaria y está fragmentada en subconjuntos desarrollados por proveedores, que a su vez dividen el ensamblaje bajo su responsabilidad en subconjuntos (Pardessus, 2001). La construcción de una aeronave exige la integración de información en todo el ciclo productivo, que incluye diseño y producción. La necesidad de dar respuestas en el sector a esta integración orientó a los países, las organizaciones internacionales especializadas y grupos empresariales a investigar nuevas es-

trategias, donde la ingeniería colaborativa se perfila como una respuesta articuladora. Aunque su desarrollo adquiere diferentes nombres (empresa extendida, CEE), básicamente constituye una arquitectura basada en internet donde se puede compartir y transferir conocimiento del ciclo de vida del producto entre empresas geográficamente distantes y adoptar decisiones correctas en un ambiente colaborativo (Monell y Piland, 2000; Brissaud y Tichkiewitch, 2001).

La ingeniería colaborativa (Collaborative Engineering Environments, CEE) es una nueva disciplina de ingeniería sociotécnica, facilita el establecimiento de acuerdos técnicos pertenecientes a múltiples disciplinas que trabajan en común para lograr un objetivo conjunto, a veces con recursos limitados o con intereses contrapuestos (Lu *et al.*, 2007). Estos autores enfatizan la acción conjunta a través de varias fronteras culturales, geográficas y disciplinarias. El esfuerzo de integración por medio de nuevas herramientas hace más eficaz al sistema para resolver problemas de diseño y producción. Las ingenierías colaborativa y concurrente están fuertemente ligadas para asegurar la colaboración (temporal) y multidisciplinaria en un proyecto de diseño integrado y distribuido geográficamente. El concepto de ingeniería colaborativa supone la construcción de un entorno de diseño aeroespacial donde el equipo de trabajo se convierte en una estructura interactiva gracias a los medios electrónicos, que logran reunir los mejores talentos distribuidos geográficamente para desarrollar capacidades de análisis y diseño de los sistemas aeroespaciales integrados, en conjunto con las herramientas de punta para estimar costos y evaluación de riesgos. El enfoque aplicado por la NASA para estimular la ingeniería colaborativa se concentra en *a*) la integración de los miembros del equipo; *b*) a través del software y hardware de análisis e instalaciones que permitan el desarrollo de una capacidad de diseño y análisis específico, y *c*) la habilidad para compartir datos entre el personal y los centros tecnológicos líderes distribuidos en todas las regiones del mundo mediante el uso de la Red Privada Virtual (VPN). La meta es la colaboración sincrónica y asincrónica de los miembros del equipo distribuido geográficamente con la incorporación de computación avanzada, comunicaciones y tecnologías de análisis. La ingeniería colaborativa sustituye a otros enfoques utilizados anteriormente como IPDT, donde un grupo de personas trabajaba conjuntamente en un mismo lugar para obtener los diseños aeroespaciales. Actualmente el concepto de CEE se aplica al diseño y análisis de varios sistemas aeroespaciales a gran escala.

Dentro de la lista actual de aplicaciones emprendidas por la NASA figuran, entre otras: *a*) el sistema de transportación espacial reutilizable (RSTS), cuyo objetivo es desarrollar un entorno de análisis y diseño integrado (con usuarios y datos distribuidos); *b*) la Estación Espacial Internacional; un simulador modelará el desempeño del sistema y vehículo de Estación Espacial Virtual en cualquier entorno y configuración elegida por el usuario, y *c*) un transbordador espacial con habilidades de sostener y desempeñar evaluaciones virtuales (técnicas, operativas, programáticas), con capacidad de incorporar datos externos para la visualización del sistema (integración de cargamento, procesamiento del transbordador); sistema de observación de la Tierra avanzado por medio de simulación de misiones, y diseño asistido por simulación de misiones científicas tanto en ciencias terrestres como del espacio (Monell y Piland, 2000).

A nivel europeo han surgido programas que orientan el manejo de la configuración de productos y procesos integrados, la Unión Europea ha brindado apoyo a múltiples programas de I+D en el sector aeroespacial, ya sea dirigidos a varios países o en colaboración con empresas, especialmente EADS-Airbus, interesada en continuar desarrollando su competitividad internacional. Sin que llegue a ser un panorama exhaustivo de estos programas, se indican los más significativos para cumplir con las prioridades aeronáuticas y la motivación para profundizar en nuevas formas de colaboración entre equipos distribuidos geográficamente, con la finalidad de lograr nuevas capacidades de análisis y diseño de sistemas aeroespaciales para crear productos costeables e innovadores. Desde finales de la década de los noventa del siglo pasado surgen diversos proyectos en el contexto de los programas Marco (4, 5 y 6) apoyados por la Unión Europea que constituyen una apuesta clara para la inversión en nuevas investigaciones multidisciplinarias orientadas a la convergencia y la colaboración.

El proyecto Enhance (Ingeniería Concurrente Aeronáutica Mejorada), creado en 1999 dentro de las perspectivas planteadas para el sector aeroespacial en el 4o. Programa Marco, se enfocó a definir un sistema para trabajar en común entre empresas que colaboran en la misma cadena y/o sector sostenidas por herramientas operativas (Delpiano *et al.*, 2002). Los resultados de Enhance llegaron a organizar un proyecto más amplio: Vivace (Mejora del Valor a través de la Empresa Colaborativa Aeronáutica Virtual) (European Commission, 2007).

El proyecto Diecom (Ambiente Distribuido e Integrado de Manejo de Configuración), con una duración de dos años, comenzó en 2001 bajo los auspicios de la Unión Europea dentro del 5o. Programa Marco, con la finalidad de mejorar las capacidades de la industria aeroespacial y automotriz para integrar procesos, procedimientos y reglas.

El proyecto Vivace, cofundado con la Comisión Europea para abordar los objetivos de la Visión Aeronáutica 2020 con el objetivo de reducir costos y tiempo de espera, está dividido en tres subproyectos: *a*) estudios de la aeronave, *b*) estudios del motor y *c*) capacidades avanzadas. Este último enfocado a la colaboración (entre organizaciones y disciplinas) y el manejo de una estructura de datos de ingeniería, la creación de un centro para ejecutar los diferentes conceptos basados en el estándar AP239 y los problemas de interoperabilidad.

El proyecto ATHENA (Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) ha incurrido con éxito en nuevas posibilidades para responder a las necesidades de seguridad de los usuarios, consolidar sus liderazgos y establecer regulaciones (facilitar una mayor integración de programas europeos nacionales y privados).

Dicho proyecto aborda el área aeronáutica y automotriz, cuyos objetivos son resolver, a través de un enfoque holístico, los problemas de interoperabilidad utilizando diferentes dimensiones, métodos e infraestructuras. Desde una solución de mediación semántica, para modelar empresas en un contexto de empresas colaborativas, hasta procesos de negocios interorganizacionales, servicios y estructuras de interoperabilidad para empresas en red y servicios de arquitectura (Service Oriented Architectures, SOA) (Ruggaber, 2005). La creación de escenarios juega un rol muy importante en el proyecto ATHENA como forma de validación de resultados. Las investigaciones emprendidas se enfocaron a buscar esquemas de interoperabilidad para redes empresariales; es decir, la definición de nuevas arquitecturas e infraestructuras que sostienen la aplicación de la interoperabilidad.

El proyecto SEINE (Estándar para Empresas Extendidas Digitales Innovadoras) se orientó a mejorar y estandarizar los intercambios de datos y procesos entre OEM y proveedores del sector aeronáutico. Dicho proyecto se articuló en dos ejes básicos del sector: *a*) manejo de la cadena de abastecimiento y *b*) manejo del ciclo de vida del producto (PLM). El sistema PLM

aplicado por varias empresas aeronáuticas implica colaboración no invasiva, dado que no pide cambios a los sistemas privados, sino que permite el intercambio de manejo de datos de desempeño en la ingeniería colaborativa (Van Wijik *et al.*, 2009). El ciclo de vida para procesos (según los autores mencionados) se refiere a un rastreador de flujos de trabajo que aportan datos del producto. Se supone que las empresas son más efectivas si trabajan con su propio lenguaje en su respectivo entorno. El equipo de trabajo es más productivo si el modelo en común recibe los datos específicos de las diferentes compañías y son compartidos con las personas a las que les conciernen. Durante los intercambios, los datos pueden ser transmitidos o extraídos por el sistema de colaboración a sistemas de propiedad. La transmisión permite una mejor sincronización, aunque se somete a múltiples controles y restricciones de seguridad, mientras que la extracción de datos permite mayor libertad para estimular una transmisión más flexible.

El proyecto SEINE enfatizó el desarrollo de la ingeniería colaborativa en la cadena de abastecimiento aeronáutica, los estándares de datos de producto, la integración de pymes en los procesos digitales y la definición de funcionalidades y servicios de plataforma necesarios para apoyar la colaboración. En el sector aeronáutico contribuyó a definir un espacio de referencia para recibir datos del producto en la brecha entre empresas, además de describir protocolos enfocados en los intercambios entre las organizaciones y los conceptos de PLM en apoyo de la colaboración, la cual se tradujo en contenidos de datos para construir el diseño integrado. El propósito del proyecto no fue redefinir la colaboración entera, sino mejorar los intercambios y la comunicación. De acuerdo con el criterio de las empresas, las personas son más productivas trabajando en su propio entorno.

Las firmas aeronáuticas aplicaron desde mediados de la década de 1990 diferentes medios de planificación y coordinación, que fueron los antecedentes de la actual ingeniería colaborativa. El proyecto iniciado por General Electric (GE) en 2011 de internet industrial, cuya expansión abarca sectores de vanguardia tecnológica, como aeroespacial, energía, dispositivos médicos y transporte. Internet industrial constituye un modelo disruptivo que afectó todos los campos de negocios, desde consumidores hasta el sector industrial, introduciendo nuevos desafíos en la gestión y la inversión masiva en tecnologías de la información profundi-

zando la conexión de máquinas y trabajadores. Los elementos determinantes fueron las máquinas inteligentes, la analítica de datos y el personal calificado (Agarwal y Brem, 2015; Evans y Annunziata, 2012). El desarrollo de internet industrial supuso un gran potencial para incrementar la productividad mediante el uso de operaciones inteligentes y actividades centralizadas e integrar el software de negocios. La integración interna que provocó la adopción de este modelo modificó la estructura organizacional al combinar la tecnología informática con la operacional para interactuar unas con otras y crear sinergias. La creación de internet industrial supone una experiencia de convergencia tecnológica intraempresa y de los modelos de negocios, además de acelerar la productividad y la toma de decisiones en tiempo real.

El proyecto Airbus Concurrent Engineering (ACE) desarrolló métodos, procesos y herramientas para una integración más funcional. Los aviones A380, C295 y A350 utilizaron ampliamente estos enfoques en su fabricación (Mas *et al.*, 2013; Pardessus, 2001).

La evolución de la ingeniería tradicional a la colaborativa ha sido un proceso continuo en la trayectoria de adopción de los cambios tecnológicos por las grandes OEM. Los principales elementos que desencadenaron estas transformaciones dan cuenta de la evolución tecnológica del software, la necesidad de acortar tiempos para competir en los mercados y de reducir costos manteniendo niveles de calidad en la producción y en la trayectoria de los grupos de trabajo. La complejidad del diseño y fabricación de un avión es muy alta, con infinidad de componentes ensamblados dentro de estructuras de mayor complejidad y manufacturadas para el caso de Airbus en diversos países europeos (Pardessus, 2001). La transversalidad de la digitalización impacta todas las fases del proceso de producción; un elemento que propició esta evolución de la ingeniería tradicional a la colaborativa fue la utilización del IDMU (Industrialización Digital Mock-Up), que es el soporte fundamental de la ingeniería colaborativa, ya que provee un entorno virtual para el desarrollo de la fabricación. El diseño y la fabricación pueden interactuar e influenciarse mutuamente. El IDMU recoge información relacionada con el diseño funcional más la información necesaria para el diseño industrial con apoyo de herramientas PLM. La manufactura y el proceso de ensamblado están estrechamente vinculados con los recursos y capacidades.

El proyecto CALIPSONE fue una estrategia piloto de investigación y desarrollo lanzado en 2013 con el apoyo de consultorías en ingeniería, empresas dedicadas a las tecnologías de la información, centros de investigación y universidades con la finalidad de mejorar el desarrollo de nuevos métodos de desarrollo, personalización y despliegue de una nueva metodología y proceso en la fabricación de Airbus Military, implicó la aplicación de la ingeniería colaborativa para Airbus. La interoperabilidad entre las diferentes aplicaciones de software y módulos fue un desafío constante para asegurar la integración de un conjunto multidisciplinario, con ingenieros y expertos en PLM e informática.

## Reflexiones finales

El objetivo de este trabajo fue presentar, a nivel teórico, los núcleos determinantes del paradigma de la convergencia del conocimiento y las tecnologías, enfatizando las nuevas perspectivas que se abren para la colaboración intra e interindustrias y disciplinas, con capacidad de crear nuevos nichos de oportunidad científica con los sectores productivos. La interrelación planteada por la convergencia diluye fronteras entre conocimientos y procesos mediante el uso de sistemas innovadores informáticos, para apoyar el intercambio de información y ampliar la comunicación a actores distribuidos geográficamente. La digitalización de la economía y la sociedad apunta a una revolución disruptiva no inmediata, pero inevitable. Por ello el desafío para las políticas industriales y de innovación es atrapar las transformaciones y apropiarse de los beneficios de la digitalización para fortalecer las cadenas locales y la creación de nuevas calificaciones, que implicarán cambios radicales en el empleo, la educación, la formación técnica y la investigación. Las decisiones estratégicas a nivel de política industrial y científica adoptadas por algunos países industrializados (especialmente señalados en esta sección los Estados Unidos de América y Alemania) que optaron por políticas activas de estímulo para el desarrollo de sectores canalizadores de estos paradigmas, conforman una base competitiva de futuro en el proceso de reindustrialización y la renovación de las relaciones entre la investigación, la formación y los sectores productivos. La profundización en el sector aeroespacial de los efectos convergentes se realizó

considerando los distintos programas apoyados por organizaciones especializadas (NASA, programas Marco auspiciados por la Unión Europea dirigidos al sector) y empresas OEM que orientaron la investigación y el desarrollo para consolidar la investigación de estos enfoques convergentes en aplicaciones reales, como la ingeniería colaborativa. La finalidad de la ingeniería colaborativa es mejorar y estandarizar, mediante el uso de medios digitales innovadores, los intercambios de datos y procesos a lo largo de la cadena de valor del sector aeroespacial. De esta forma un problema teórico complejo contribuye a encauzar los problemas de desarrollo de un sector productivo y a crear soluciones para los bloqueos productivos.

Las posibilidades que abren estos enfoques a nivel teórico y de aplicación en el fomento de nuevos nichos industriales son muy amplias y complejas, en especial para los países emergentes, donde los retos y desafíos planteados con anterioridad no se han asimilado totalmente. Aunque en los países emergentes las relaciones de colaboración entre sectores productivos con la investigación (universidades, CPI, IT) impulsada para dar respuestas a los cambios tecnológicos son insuficientes, ya que en algunos casos se apela a soluciones artificiales que conciernen al deber de la innovación, o de proyectos emprendedores, pero cuya realización no crea continuidad ni arraigo social y productivo.

Actualmente las mejoras realizadas en México, que abarcan infraestructura, tecnologías, comportamientos y flexibilidad organizacional, responden a lógicas fragmentadas a veces opuestas que impiden lograr resultados efectivos. Los cambios frecuentes en el diseño de las políticas públicas y de los programas de impulso a la innovación adolecen de una evaluación que recupere oportunidades a seguir de acuerdo con la capacidad productiva de los estados y/o clústeres establecidos. Estas carencias no ayudan a consolidar entornos apropiados para atender las demandas sociales y crear mercados fuertes para la innovación. La debilidad de este sistema expresa las carencias de información, de relaciones de confianza y de intercambios de conocimientos (tácito y codificado) entre sus agentes protagónicos (empresarios, comunidad científica, administradores, organizaciones intermedias, sociedad civil).

A pesar de las mejoras en los programas nacionales de desarrollo y de ciencia, tecnología e innovación persisten aún graves obstáculos en la sistematización de información sobre los resultados obtenidos, la

evaluación de los alcances y efectos de las modalidades de transferencia y colaboraciones iniciadas. Las debilidades estructurales de la innovación reflejan la falta de liderazgo en la capacidad del Estado para diseñar acciones, especialmente para consolidar los avances obtenidos que estimulen selectivamente las capacidades de innovación. En México se ha avanzado en múltiples iniciativas para desarrollar sectores receptores de nuevas tecnologías; los clústeres creados y consolidados en diversos estados señalan estos adelantos, complementados con la construcción de una estructura institucional más compleja para densificar las redes de colaboraciones y vínculos entre los diferentes actores productivos, gubernamentales, investigadores, funcionarios, asociaciones empresariales, organizaciones intermedias. Por otra parte, a nivel de políticas de estímulos y fomento a la innovación organizada a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), se diseñó una serie de programas e instrumentos orientados a facilitar las relaciones de comunicación y transferencia de conocimientos entre los CPI y las empresas, que pueden ser el germen para generar mayor confianza en los resultados multidisciplinarios que se puedan lograr con actores no solo de la comunidad científica sino de carácter multinivel (públicos-privados). Entre estos programas destaca la organización de redes temáticas de enlace entre investigadores, empresas, clústeres y organizaciones públicas y privadas, cuya acción consolida una nueva discusión de carácter multidisciplinario a nivel del conocimiento y en relación con el entorno, ya que una meta a lograr es reunir agentes heterogéneos para reflexionar y colaborar en torno a una problemática cuya resolución implica una gobernanza multinivel. A este programa se unen nuevas iniciativas también auspiciadas por el Conacyt, como las nuevas convocatorias sobre estudios de frontera del conocimiento, las agendas estatales de innovación y la creación de consorcios bilaterales (NSF-Estados Unidos de América/México en áreas de frontera), que pueden constituir núcleos de discusión y trabajo conjunto para ir más allá en la reflexión y aplicabilidad de los nuevos paradigmas del conocimiento e incursionar en otros ámbitos donde las investigaciones realizadas tengan una repercusión a nivel productivo y en la propia comunidad científica. Las posibilidades están abiertas para construir vías de integración, multidisciplinariedad y colaboraciones multinivel. Hay que preguntarse si existe la voluntad de romper con la rigidez de los comportamientos reiterativos que

tienden más a adherirse a lógicas burocráticas que innovadoras. Para la comunidad científica el trabajo multidisciplinario en equipo supone una perspectiva de colaboración y de construcción de un nuevo diálogo, que implica trascender los límites protectores de la seguridad conocida, que reproduce los intercambios entre actores de una misma disciplina reforzando sus propios enfoques sin admitir una integración más compleja de las múltiples dimensiones e impactos que conllevan los cambios de la fabricación digital. ¿Podremos trabajar juntos ingenieros, sociólogos, antropólogos, empresarios e informáticos para analizar y construir interpretaciones sobre las condiciones, impactos y efectos de los nuevos paradigmas en la producción? ¿Se podrán diseñar nuevas modalidades para evaluar estos cambios en el trabajo de investigación que den cuenta de una trayectoria de colaboración multidisciplinaria e integradora, cuya cuantificación no sea exclusivamente los *papers* realizados individualmente?

## Referencias

- Acatech (National Academy of Science and Engineering) (2011). "Cyber-Physical Systems. Driving Force for Innovation in Mobility, Health, Energy and Production", *Acatech Position Paper*, diciembre.
- Agarwal, Nivedita y Alexander Brem (2015). "Strategic Business Transformation through Technology Convergence: Implications from General Electric's Industrial Internet Initiative", *International Journal of Technology Management*, vol. 67, núms. 2-4, pp. 196-214.
- Baghdjian, Alice (2012). "German Manufacturing Shrinks at Fastest Pace in Three Years", [en línea], en *Reuters. US Edition*. Disponible en <<http://www.reuters.com/article/us-german-manufacturing-shrinks-at-fastest-idUSBRE8610BL20120702>>, consultado el 12 de marzo de 2015.
- Brettel, Malte, Niklas Frederichsen, Michael Keller y Marius Rosenberg (2014). "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective", *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, vol. 8, núm. 1.
- Brissaud, Daniel y Serge Tichkiewitch (2001). "Product Models for Life-Cycle", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 50, núm. 1, pp. 105-108.

- Casalet Ravenna, Mónica (2015). “El mito de Sísifo. Avances y nuevos desafíos en la apropiación de los paradigmas tecnológicos”, en *Innovación tecnológica y procesos culturales*, México, FCE, pp. 215-230.
- Casalet Ravenna, Mónica (2014). “La nueva institucionalidad para la innovación en América Latina: Efectos de la manufactura avanzada”, [en prensa] en *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)-Chile*.
- Curran, Clive-Steven, Stefanie Bröring y Jens Leker (2010). “Anticipating Converging Industries Using Publicly Available Data”, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 77, núm. 3, pp. 385-395.
- Delpiano, Marco, Marco Fabbri, Claudia Garda y Elena Valfrè (2002). “Virtual Development and Integration of Advanced Aerospace Systems: Alenia Aeronautics Experience”, *Symposium on Reduction of Military Vehicle Acquisition Time and Cost through Advanced Modelling and Virtual Simulation*, París, Francia, abril, pp. 22-25.
- Department of Commerce, Manufacturing Council Advisory Committee (2008). “Manufacturing Policy Recommendations”, [en línea], en *National Institute of Standards and Technology*. Disponible en <[http://www.manufacturing.gov/pdf/121208\\_Ltrs\\_of\\_Rec.pdf](http://www.manufacturing.gov/pdf/121208_Ltrs_of_Rec.pdf)>, consultado el 20 de enero de 2016.
- Dogan, Mathei y Robert Phare (1990). *Creative Marginality: Innovation at the Intersections of Social Sciences*, Estados Unidos de América, Westview Press, Boulder.
- European Commission (2007). “VIVACE: Final Technical Achievements”, [en línea], en *European Commission*. Disponible en <[http://cordis.europa.eu/docs/publications/1247/124729431-6\\_en.pdf](http://cordis.europa.eu/docs/publications/1247/124729431-6_en.pdf)>, consultado el 30 de enero de 2016.
- Evans, Peter C. y Marco Annunziata (2012). “Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines”, [en línea], *General Electrics*. Disponible en <[http://www.ge.com/docs/chapter/Industrial\\_Internet.pdf](http://www.ge.com/docs/chapter/Industrial_Internet.pdf)>, consultado el 12 de marzo de 2016.
- Ezell, Stephen y Robert Atkinson (2011). “International Benchmarking of Countries Policies and Programs Supportin smu Manufacturers”, *Washington Brooking Information Technology and Innovation Foundation*, [en línea]. Disponible en: <<http://www.itif.org/files/2011-sme-manufacturing-tech-programss-new.pdf>>, consultado el 10 de enero de 2016.
- German Center for Research and Innovation (2011). “German Innovation”, [en línea]. Disponible en <<http://www.germaninnovation.org/>>, consultado el 12 de marzo de 2016.

- Gilchrist, Adam (2016). "The Technical and Business Innovators of the Industrial Internet" en *Industry 4.0. The Industrial Internet of Things*, Nueva York, Apress, pp. 33-64.
- Giorgi, Liana y Jacqueline Luce (2007). "Converging Science and Technologies: Research Trajectories and Institutional Settings", *The European Journal of Social Science Research*, vol. 20, núm. 4, pp. 307-311.
- Hacklin, Fredrik (2007). *Management of Convergence in Innovation: Strategies and Capabilities for Value Creation Beyond Blurring Industry Boundaries*, Heidelberg, Physica.
- Hacklin, Fredrik y Martin W. Wallin (2013). "Convergence and Interdisciplinary in Innovation Management: a Review, Critique, and Future Directions", *The Services Industries Journal*, vol. 33, núms. 7-8, pp. 774-788.
- Iturriaga, Ibon (2015). "Manufactura avanzada y efectos de la reestructuración industrial a nivel sectorial y territorial", en Mónica Casalet Ravenna (coord.), *Gobernanza e impulso a las agendas estatales de innovación*, México, Flacso México.
- Lee, Jay (2016). "La era del Big Data Industrial: industria 4.0", *Newsletter XXV aniversario*, vol. 60, Lania y la Red Temática Convergencia del Conocimiento del Conacyt.
- Lee, Kong-rae (2015). "Towards a New Paradigm of Technological Innovation: Convergence Innovation", *Asian Journal of Technology Innovation*, vol. 23, núm. 1, *Convergence Innovation in Asian Industries*, pp. 1-8.
- Lee, Sang M., David L. Olson y Silvana Trimi (2010). "The Impact of Convergence on Organizational Innovation", *Organizational Dynamics*, vol. 39, núm. 3, pp. 218-225.
- Lu, Stephen C.-Y., Waguih Elmaraghy, Günter Schuh y Robert Wilhelm (2007). "A Scientific Foundation of Collaborative Engineering", *CIRP Annals: Manufacturing Technology*, vol. 56, núm. 2, pp. 605-634.
- Mas, Fernando, José Luis Menéndez, Manuel Oliva, Alejandro Gómez y José Ríos (2013). "Collaborative Engineering Paradigm Applied to the Aerospace Industry", en Alain Bernard Louis Rivest y Debasish Dutta (eds). *IFIP International Federation for Information Processing, PLM*, pp. 675-684.
- McKinsey Global Institute (2012). "Manufacturing the Future: The Next Era of Global Growth and Innovation", [en línea], en OEDC. Disponible en <<http://www.oecd.org/dev/Manufacturing-the-future-the-next-era-of-global-growth-and-innovation.pdf>>, consultado el 12 de marzo de 2016.

- Mendikoa, Iñigo, Mikel Sorli, José I. Barbero, Ana Carrillo y Álvaro Gorostiza (2008). "Collaborative Product Design and Manufacturing with Inventive Approaches", *International Journal of Production Research*, vol. 46, núm. 9, pp. 2333-2344.
- Menon, Karan, Hannu Kärkkäinen y Lester Allan Lasrado (2016). "Towards a Maturity Modeling Approach for the Implementation of Industrial Internet", en *Proceeding of the 20th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS 2016): 27 de junio-1 de julio de 2016*, [38] Association for Information Systems AIS.
- Monell, Donald W. y William M. Piland (2000). "Aerospace Systems Design in NASA's Collaborative Engineering Environment", *Acta Astronautica*, vol. 47, núms. 2-9, pp. 255-264.
- Moreno Escobar, Hernán, Hugo Sin Traina y Sérgio Caino Silveria Netto (2007). "Conceptualización de arquitectura de gobierno electrónico y plataforma de interoperabilidad para América Latina y el Caribe", [en línea], en *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. Disponible en <<http://www.cepal.org/en/node/19885>>, consultado el 8 de enero de 2016.
- Navarro Arancegui, Mikel y Xabier Sabalza Laskurain (2016). "Reflexiones sobre la industria 4.0 desde el caso vasco", *Ekonomiaz: Revista Vasca de Economía*, núm. 89, pp. 142-173.
- Nordmann, Alfred (2004). "Converging Technologies: Shaping the Future of European Societies", *Office for Official Publications of the European Communities*, EUR 21357.
- Pardessus, Thierry (2001). "The Multi-Site Extended Enterprise Concept in the Aeronautical Industry", *Air & Space Europe*, vol. 3, núms. 3-4, pp. 46-48.
- Popplewell, Keith (2011). "Towards the Definition of a Science Base for Enterprise Interoperability: A European Perspective", *Systemics Cybernetics and Informatics*, vol. 9, núm. 5, pp. 6-11.
- President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST) (2011). "Report on the Intersection of the Nation's Ecosystems and the Economy", [en línea], en *White House*. Disponible en <[http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast\\_sustaining\\_environmental\\_capital\\_report.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_sustaining_environmental_capital_report.pdf)>, consultado el 12 de enero de 2016.
- Roco, Mihail C. y William Sims Bainbridge (2001). "Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology", [en línea], en *Springer*. Disponible en

- <<http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/nanos.pdf>>, consultado el 20 de enero de 2016.
- Ruggaber, Rainer (2005). "ATHENA: Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications IP", [en línea], en *ResearchGate*. Disponible en <[https://www.researchgate.net/publication/228673784\\_Advanced\\_Technologies\\_for\\_interoperability\\_of\\_Heterogeneous\\_Enterprise\\_Networks\\_and\\_their\\_Applications\\_IP\\_IST-2001-507849](https://www.researchgate.net/publication/228673784_Advanced_Technologies_for_interoperability_of_Heterogeneous_Enterprise_Networks_and_their_Applications_IP_IST-2001-507849)>, consultado el 20 enero de 2016.
- Van Wijk, Dimitri, Benoît Eynard, Nadège Troussier, Farouk Belkadi, Lionel Roucoules y Guillaume Ducellier (2009). "Integrated Design and PLM Applications in Aeronautics Product Development", *The 19th CIRP Design Conference-Competitive Design*, Cranfield University, p. 118.
- Wallin, Martin W. (2012). "The Bibliometric Structure of Spin-off Literature", *Innovation: Management, Policy & Practice*, vol. 14, núm. 2, pp. 162-177.
- Zhang, Yan y Haiyang Li (2010). "Innovation Search of New Ventures in a Technology Cluster: the Role of Ties with Service Intermediaries", *Strategic Manage*, vol. 31, núm. 1, pp. 88-109.



## VI. Innovación, complejidad productiva y oportunidades de convergencia: el caso de la industria aeronáutica

*Juana Hernández Chavarria\**

### Introducción

La innovación juega un papel central en la competitividad de las empresas y en sectores como el aeronáutico es la llave del éxito. Las nuevas tecnologías para la organización flexible de la producción tienen gran importancia en la capacidad de competir de las organizaciones; el surgimiento de nuevos paradigmas organizativos ha creado transformaciones en la forma de producción y por ende en las actividades innovadoras. El aeronáutico es un sector dinámico en innovaciones, investigación y desarrollo (I+D), uso de nuevos materiales y procesos con apoyo de modernas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) que hacen más eficiente el producto final.

En la industria aeronáutica se observan diferentes oportunidades para la innovación, no solo en la generación de productos, sino en distintos métodos de producción, organización y nuevas formas de acceder a otros mercados, esto debido a las características del sector, donde las innovaciones de productos están muy focalizadas en las empresas líderes (OEM).

Es una industria integrada al paradigma de manufactura avanzada, debido a los múltiples sectores y procesos que convergen para la

---

\* Doctora en Investigación en Ciencias Sociales en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede México. Becaria posdoctoral en la Facultad de Economía de la UNAM. Este trabajo se realizó con el apoyo del programa de becas posdoctorales de la UNAM.

concepción de una aeronave. Se dedica al diseño, desarrollo y fabricación de aeronaves de hélice, turborreactor, estatorreactor o pulsorreactor, utilizadas con fines tanto militares como comerciales o de mercancías. Se incluyen también los motores, los equipos intermedios relacionados con la aviación (equipos, aviónica, aeroestructuras, etc.) y las actividades de mantenimiento, reparación y recambios (Comunidad de Madrid, 2014: 16; López *et al.*, 2012).

Es una industria que fabrica un producto muy complejo, con altos márgenes de dependencia en actividades de I+D e innovaciones, requiere de tecnología de punta y de vanguardia en la línea de la tecnología industrial; con respecto a otras industrias, genera tecnologías nuevas y ampliamente probadas, así como el suministro de trabajadores e ingenieros altamente calificados y con experiencia para la fabricación en general.

El alto nivel tecnológico de las aeronaves construidas en la actualidad implica grandes esfuerzos inversores al inicio y ciclos de producción muy largos; el financiamiento del proceso de producción es uno de los puntos críticos de éxito en esta industria. Esto explica la gran homogeneidad existente en las soluciones tecnológicas aplicadas en los diferentes modelos, cualquier pequeña variación en ellas implica grandes presupuestos.

El análisis de las fuentes internas y externas de innovación en la industria aeronáutica permite tener un panorama del nivel de complementariedad con la convergencia tecnológica y de conocimiento y cómo inciden en el desarrollo de capacidades de producción de la empresa y en las oportunidades para que nuevas empresas se inserten en los procesos productivos. Se observa una relación de complementariedad entre innovación interna y externa; aunque la I+D proviene del exterior desencadena procesos de convergencia y oportunidades para países como México. Las fuentes externas contribuyen al acceso de información clave para la innovación, en tanto que las internas, vía transferencia de conocimientos, contribuyen en la creación de aprendizajes y capacidades endógenas que se traducen en mejores niveles de calidad y seguridad. Las estrategias de convergencia tecnológica se manifiestan en la creación de plataformas de colaboración de clientes y proveedores, y en acciones de fomento productivo y de estímulo a la transferencia de conocimientos auspiciada por el gobierno nacional y estatal. La pregunta general es: ¿qué peso tienen en la industria aeronáutica las fuentes internas y externas de innovación y qué nivel de complementariedad muestran con el enfoque de conver-

gencia de conocimiento y tecnología y las capacidades de producción de las empresas de la aeronáutica?

Existe una relación de complementariedad entre la I+D interna y la que se genera fuera de las firmas en la industria aeronáutica. En años recientes se observa un alto crecimiento de actividades de esta última, es una industria que está a la vanguardia en tecnología y uso de materiales cada vez más complejos, lo que hace que la I+D sea muy costosa y requiera de relaciones de cooperación entre las distintas empresas para costear tanto el personal como los laboratorios necesarios para nuevos desarrollos.

Las tendencias de la aeronáutica están estrechamente relacionadas con las oportunidades de convergencia, abren oportunidades para que nuevas firmas y países tengan participación en la producción y ventas en este sector. Entre las principales tendencias resaltan: *a)* cambios en la estructura productiva y de proveeduría, *b)* incremento de la demanda de aeronaves, y *c)* aumento de la cooperación cliente-proveedor y gobierno-industria.

Las tendencias son una fuente de oportunidades de convergencia tecnológica y sectorial, los procesos de convergencia incorporan nuevos actores en sectores como la nanotecnología, las TIC, maquinados, y demandan la generación de recursos humanos con nuevas cualificaciones.

Este trabajo se divide en seis partes, la primera se enfoca en la importancia de la innovación en la competitividad de las empresas; la segunda hace un amplio análisis de las características de la industria aeronáutica a nivel global; en la tercera se presenta el papel de la innovación y la convergencia dentro de la industria; la cuarta parte describe las tendencias de la industria a nivel global; la quinta parte plantea las oportunidades de convergencia dentro del sector, y finalmente, en el sexto punto se presentan las conclusiones generales.

## **Importancia de la innovación en la competitividad de las empresas**

La innovación puede explicarse como una forma diferente de hacer las cosas, es decir, la concepción de nuevos productos, servicios y procesos mediante el uso del conocimiento existente, lo que da lugar a innovaciones

radicales o incrementales. En este sentido el enfoque de convergencia de conocimiento y tecnología no puede desvincularse de la innovación, ambas requieren de redes creadas entre distintas disciplinas que contribuyan a esta nueva forma de hacer las cosas.

La innovación se puede analizar como un proceso que permite el desarrollo de nuevos productos y servicios que responden a la diversidad de insumos y ámbitos de aplicación que utiliza el sector industrial. La convergencia en la manufactura avanzada se ve claramente en la interacción-colaboración de innovaciones a través de plataformas y redes, que conduce al avance tecnológico multidisciplinario que tiende a borrar fronteras entre disciplinas; si bien este proceso requiere de diversas condiciones institucionales, de políticas públicas, de colaboración entre los sectores público-privado y académico, entre otros. Actualmente, al menos en la aeronáutica, se han logrado avances significativos en los procesos y productos que dan cuenta de una convergencia guiada, y que a su vez han producido innovaciones continuas y disruptivas. Ambos factores demandan la aplicación del conocimiento y tecnologías provenientes de diferentes ámbitos (biotecnología, nanotecnología, manufactura avanzada, informática, por mencionar algunos), cuya interrelación permite crear nuevos conocimientos, procesos, productos y servicios innovadores basados en la multidisciplinariedad (Casalet, 2016).

El clima actual del mercado global ha generado nuevos retos y competencias para las empresas en todo el mundo. Las más recientes tecnologías para la organización flexible de la producción tienen gran importancia en la competitividad de las organizaciones; el surgimiento de paradigmas organizativos ha creado transformaciones en la forma de producción y por ende en las actividades innovadoras. El aeronáutico es un sector dinámico en innovaciones, I+D, uso de nuevos materiales y procesos con apoyo de modernas tecnologías de la información y la comunicación, que hacen más eficiente el producto final.

Las demandas productivas actuales, como en el caso de la industria aeronáutica, plantean la necesidad de un trabajo colaborativo que integre equipos multidisciplinarios ligados con la industria, sostenidos por sistemas informáticos que hacen efectiva la interoperabilidad organizativa (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151); este trabajo colaborativo genera procesos de convergencia tecnológica que permite la fabricación de un producto tan complejo donde interactúan

diversas disciplinas en el diseño y producción en distintas partes del mundo. Las características propias del proceso productivo dentro de la industria aeronáutica son una fuente de investigación y desarrollo continuo y en consecuencia de innovaciones en distintos ámbitos de la producción, pero también de la organización y la distribución.

Estas transformaciones ganan importancia para actividades innovadoras en aspectos como las estrategias de diferenciación de producto y proceso, las mejoras incrementales y radicales en los productos y servicios, el cuidado del medio ambiente y el uso de materiales avanzados integrados en el paradigma de manufactura avanzada. Dichos cambios no solo son importantes en la generación de nuevos procesos productivos, sino que cada vez, en las actividades innovadoras, se deben considerar aspectos como la calidad, que además de la producción se integran a las modalidades de organización y de comercialización (Martínez, 2002).

Desde la economía evolucionista, autores como Lundvall plantean que la innovación y el cambio técnico juegan un papel central en la competitividad internacional de una empresa; el éxito de una innovación se da mediante el aprendizaje interactivo, que se refiere a la influencia de la interacción social entre productores y usuarios de la innovación; en este sentido, esta última es vista como motor de desarrollo económico.

Para Lundvall la interacción entre usuarios y productores tiene características importantes, como la duración; dicha interacción a menudo es más eficiente en una distancia geográfica corta, sobre todo cuando las necesidades del usuario son complejas y en constante cambio, las innovaciones más exitosas son las que toman en cuenta las necesidades de los clientes (Lundvall, 1988; Laurson, 2011).

Según el Manual de Oslo, la innovación implica la utilización de un nuevo conocimiento o de una nueva combinación de conocimientos existentes; es la concepción e implantación de cambios significativos en el producto, el proceso, el *marketing* o la organización de la empresa con el propósito de mejorar los resultados. “Los cambios innovadores se realizan mediante la aplicación de nuevos conocimientos y tecnologías que pueden ser desarrollados internamente, en colaboración externa o adquiridos mediante servicios de asesoramiento o por compra de tecnología” (OCDE, 2006: 44).

Y también de acuerdo con el manual mencionado, las innovaciones tecnológicas son “de producto y proceso (TPP) que cubren los

productos y procesos tecnológicamente nuevos, así como las mejoras tecnológicas importantes que se hayan realizado de los productos y procesos. Según este manual se ha realizado una innovación de TPP si ha sido introducida en el mercado (innovación de producto) o ha sido utilizada en el proceso de producción (innovación de proceso)” (OCDE, 2006: 35).

Existe una distinción entre la invención y la innovación. La invención es la primera aparición de una idea para un nuevo producto o proceso, y la innovación es la primera comercialización de la idea; se plantea que por lo general las innovaciones se producen principalmente en las empresas en la esfera comercial y son producto de la combinación de diferentes tipos de conocimientos, capacidades, habilidades y recursos (Fagerberg, 2003).

Autores como Schumpeter resaltan el papel de la empresa como fuente de innovaciones, ya que tienen la capacidad de combinar los factores necesarios para generarlas, lo que hace que mantengan una posición competitiva dentro del mercado. Schumpeter distingue entre cinco tipos de innovaciones enfocadas a la generación de nuevos *a)* productos, *b)* métodos de producción, *c)* fuentes de abastecimiento, *d)* formas de explotación de nuevos mercados y *e)* formas de organizar los negocios (Schumpeter, 1989). Para el caso de la industria aeronáutica se observan diferentes oportunidades de innovaciones no solo en la generación de productos, sino en métodos de producción, formas de acceder a nuevos mercados o de organización de la empresa, esto debido a las características del sector donde las actividades de innovación de productos están muy focalizadas en las empresas líderes (OEM).

La innovación es reflejo del conocimiento que se desarrolla dentro de una empresa. Para obtener o desarrollar algún tipo de conocimiento existen diferentes actividades tecnológicas realizadas por la empresa, como: *a)* la (I+D), que puede ir desde la investigación fundamental y aplicada hasta el desarrollo de nuevos conceptos de productos, de procesos o métodos para evaluar su factibilidad técnica y su viabilidad económica; *b)* otras actividades innovadoras, como la definición de nuevos conceptos, procesos, métodos de comercialización o cambios organizativos, mediante relaciones con el cliente, *marketing*, capacidades de diseño y desarrollo, observación de los competidores y la contratación de consultores, por mencionar algunos (Schumpeter, 1989).

## Características de la industria aeronáutica a nivel global

La aeronáutica es una industria global por su naturaleza. Por las características, complejidad y organización productiva ningún mercado individual puede absorber el diseño, producción y distribución del producto final; debido a ello se enmarca dentro del paradigma de la manufactura avanzada,<sup>1</sup> por los múltiples sectores y procesos que convergen para la concepción de una aeronave. La manufactura avanzada es definida como

un grupo de tecnologías basadas en la informática, que incluye el diseño y fabricación asistido por ordenador, la planificación de recursos de fabricación, robótica, tecnología de grupo, los sistemas de fabricación flexibles, sistemas de manipulación automatizada de materiales, equipo de control numérico (CNC), herramienta, y códigos de barras u otras técnicas de identificación automatizados y cualquier tecnología, que sea avanzada para una empresa, cuando se compara con su tecnología de fabricación anterior o actual (Singhry, Rahman e Imm, 2015, traducción de la autora).

Este nuevo paradigma de producción impacta en la eficiencia para usar las materias primas, introduce el trabajo colaborativo e interdisciplinario que genera reducción de costos y una significativa mejora en la calidad de los productos.

La industria aeronáutica se dedica al diseño, desarrollo y fabricación de aeronaves de hélice, turboreactor, estatorreactor o pulsorreactor, utilizadas para usos tanto militar como comercial o de mercancías. Se incluyen también los motores, los equipos intermedios relacionados con la aviación (equipos, aviónica, aeroestructuras, etc.) y las actividades de mantenimiento, reparación y recambios (Comunidad de Madrid, 2014: 16; López *et al.*, 2012).

El mercado aeronáutico se divide en tres sectores, según sus funciones y ámbitos de operación: civil, militar y comercial; la competitividad de este sector va a depender del grado de flexibilidad interno de las empresas y de los esfuerzos realizados para que se produzca la integración de clientes y proveedores a lo largo de la cadena de suministro.

---

<sup>1</sup> Algunos autores, como Katz, plantean que la manufactura avanzada engloba también la concepción sobre la base de la manufactura inteligente y la manufactura digital (Katz, 2010).

Es una industria que desarrolla y fabrica un producto muy complejo, con altos márgenes de dependencia en actividades de I+D e innovaciones, su producción requiere de tecnología de punta y de vanguardia en la línea de la tecnología industrial; con respecto a otras industrias, esta genera tecnologías nuevas y ampliamente probadas, así como el suministro de trabajadores e ingenieros altamente calificados y con experiencia para la industria en general.

El producto final integra tecnología mecanizada avanzada de sectores como la electrónica, nuevos materiales, comunicaciones y software que logra la integración y determina las características de rendimiento del producto, su flexibilidad y especificaciones funcionales. Además está asociada a diferentes actividades del sector manufacturero, como la química, la electrónica, maquinados, plásticos, cristal, materiales, máquinas y herramientas, textiles y transportación, por mencionar algunos (Eliasson, 2010; Niosi y Zhegu, 2005).

Algunas características específicas de esta industria son: alta intensidad científica y tecnológica, programas de coste y riesgo altos, ciclos de desarrollo y retorno de la inversión muy largos, productos en series cortas y con gran valor añadido, colaboración internacional en diseño y desarrollo, papel relevante del gobierno como impulsor, cliente, regulador y defensor del mercado, fuertes barreras de entrada, importancia crítica de la calidad y la seguridad, ciclos de vida muy largos y relaciones entre la industria civil y la militar (López *et al.*, 2012; Casalet, 2013b).

El sector aeronáutico es un mercado singular, marcado por una alta presión competitiva entre los distintos agentes. Desde hace más de dos décadas, la competencia a nivel mundial ha ido creciendo permanentemente lo cual ha tenido efectos de tensión entre los diferentes agentes, pero también un impacto positivo en términos de crecimiento del mercado. En el segmento de los grandes aviones, por ejemplo, el duopolio Boeing-Airbus está inmerso en una fuerte competencia. Otros fabricantes, especialmente de países emergentes, comienzan a competir con recursos más baratos pero con una buena preparación en tecnología e ingeniería. Aviones como los C Series de Bombardier, algunos modelos de Embraer, el Russian MS21, el Sukhoi Superjet o el Comac C919, van consiguiendo pedidos en el segmento de grandes aeronaves.

Además, los ciclos en la demanda de aviones y los largos ciclos de producción de las aeronaves afectan la contratación de personal a largo plazo para mantener la competitividad, los fabricantes tienden a subcontratar muchos procesos y subsistemas a proveedores especializados, con el fin de compartir los riesgos de los diferentes proyectos a lo largo de la cadena de suministro, lo que configura el sector con un número reducido de grandes empresas tractoras que se apoyan en un gran número de suministradores especializados de un tamaño pequeño y mediano (Comunidad de Madrid, 2014: 21).

Las estrategias de compras y subcontrataciones de los grandes fabricantes tienen un alto impacto sobre la cadena de suministradores, que se ven obligados de manera continuada a adaptar sus estructuras, procesos y organizaciones para cumplir con los requisitos del fabricante. Por otra parte, se trata de un sector que presenta una serie de peculiaridades que lo hacen diferenciarse de otros sectores industriales y que condicionan la situación y la evolución de la organización de la producción, la localización de las actividades y la relación entre las administraciones y la industria (Comunidad de Madrid, 2014).

El alto nivel tecnológico de las aeronaves fabricadas en la actualidad implica grandes esfuerzos inversores al inicio y ciclos de producción muy largos; el financiamiento del proceso de producción es uno de los puntos críticos de éxito en esta industria. Esto explica la gran homogeneidad existente en las soluciones tecnológicas aplicadas en los diferentes modelos, cualquier pequeña variación tecnológica implica presupuestos elevados. La innovación tecnológica tiene un fuerte impacto en los presupuestos, por lo que resultan habituales las colaboraciones entre distintas empresas para diferentes desarrollos, incluso cuando son competidoras.

Es un sector donde la seguridad es un punto clave, lo que representa un reto constante hacia la innovación, que obliga a las empresas a realizar un considerable esfuerzo para controlar todas las tecnologías y sus interrelaciones, lo que se traduce en una alta especialización por parte de las empresas del sector que concentran su conocimiento y su innovación en áreas muy concretas.

Cada proyecto que se inicia dentro de esta industria implica acciones de cooperación para reducir los costos de gestión y desarrollo, reduciendo

así los riesgos financieros asociados a los programas y los fabricantes, esto explica que las empresas líderes dediquen periodos largos de tiempo en seleccionar a los suministradores antes de poner en marcha un programa, las compañías fabricantes van transmitiendo parte del riesgo económico hacia abajo en la cadena de suministro (Comunidad de Madrid, 2014: 19).

El sector está caracterizado por largos periodos para conseguir el equilibrio de resultados financieros y por mercados pequeños; ningún país tiene el tamaño suficiente para absorber en el mercado interior la compra de aviones para conseguir el equilibrio en los resultados de los fabricantes. Además, algunos gobiernos imponen la utilización de empresas locales en el proceso de producción de aviones a la hora de firmar contratos de compra. Estas realidades se traducen en un mercado global, marcado por el establecimiento de acuerdos entre los grandes fabricantes y empresas suministradoras locales en diferentes países para la producción de distintos subsistemas dentro de un programa determinado (Comunidad de Madrid, 2014).

Existe una estrecha relación entre la industria aeronáutica militar y la civil, ambos sectores comparten una amplia gama de tecnologías sofisticadas que son imprescindibles para esas áreas de operación. El mercado militar sigue sus propias reglas de funcionamiento y es apoyado frecuentemente por los gobiernos para cubrir el coste asociado al desarrollo de nuevos productos, lo que implica menores riesgos en general para las compañías productoras. Aprovechando esta situación, muchos de los avances iniciados en el ámbito militar son utilizados para el sector civil. Además, el sector aeronáutico militar en su trayectoria ha desarrollado grandes mejoras en desarrollo tecnológico; los aviones de la milicia son diseñados para trabajar en entornos difíciles y extremos a prueba de fallas, además de tener una vida útil muy larga; estos avances se han retomado para la aviación civil y comercial (Eliasson, 2010).

Es un sector que debido a sus características productivas, y por ser un mercado muy centralizado, presenta altas barreras de entrada como consecuencia de la necesidad de realizar grandes inversiones y de una elevada masa crítica mínima asegurada de ventas para poder retornarlas. En consecuencia, el sector tiene una estructura empresarial liderada por unos pocos grandes consorcios o grupos industriales que se apoyan en un considerable número de grandes, pequeñas y medianas empresas sub-

contratistas alrededor del mundo, con una alta dependencia de los mismos en sus ventas (Comunidad de Madrid, 2014: 20).

## Estructura productiva

A nivel mundial, la cadena de valor global de esta industria está dominada por cuatro grandes empresas que tienen un elevado grado de especialización y que encabezan el mercado de la producción de aviones comerciales y civiles: European Aeronautic Defence and Space Company (EADS/Airbus) de origen europeo, Boeing (para grandes aviones) de los Estados Unidos de América, Embraer de Brasil y Bombardier de Canadá (para aviones medianos), y tres grandes fabricantes de motores: General Electric, Rolls-Royce y Pratt & Whitney (Niosi y Zhegu, 2005; López *et al.*, 2012).

El peso de la industria aeronáutica y espacial en el mundo es de alrededor de 1% del PIB; en los Estados Unidos de América está muy cerca de esa cifra, y en la Unión Europea está próximo a 1.2%. Dentro de la construcción de aeronaves, el mercado civil es predominante, aunque en los Estados Unidos de América la industria aeronáutica y espacial está relativamente concentrada, ya que parte de los componentes de los aviones de las grandes empresas (de otros países) son de origen estadounidense.

La Unión Europea concentra más de un tercio de la producción mundial; el resto queda en tres países que se mueven entre 2 y 5%: Canadá, Japón y Brasil. Tras estos se encuentran el sureste asiático, con la India y China cada vez con mayor presencia, y Rusia que ha vuelto a ganar relevancia (López *et al.*, 2012). Debido a las políticas de subcontratación, la concentración de la actividad de montaje se realiza en ciudades específicas del mundo como Montreal y Belfast con Bombardier, Seattle con Boeing, Hamburgo y Toulouse con Airbus y, por último, São Paulo con Embraer (Elola *et al.*, 2013).

Estas grandes empresas refuerzan su estrategia de especialización creando proyectos que dan origen a redes de empresas ligadas por convenios o a estructuras basadas en contratos a riesgo compartido, o *joint ventures*. “Esto hace que en ocasiones se tenga a las mismas empresas implicadas en proyectos de unas y otras compañías que son competidoras en el mercado final de aviones” (López *et al.*, 2012: 29).

La localización de esta industria en clústeres está determinada por fuerzas centrífugas, es decir, desde fuera de los consorcios; grandes integradores u OEM (Original Equipment Manufacturer, por sus siglas en inglés) operan para que se instalen industrias en una zona que se vuelve estratégica en el mercado mundial, y por fuerzas centrípetas, movidas por administraciones públicas y empresas locales fuertes, integradoras de primer nivel, que atraen desde adentro para que se instalen las empresas aeronáuticas internacionales en su zona y también las pequeñas y medianas empresas (pymes) de sectores cercanos física y tecnológicamente; ambas fuerzas buscan el mayor grado de actividad en investigación e innovación.

Las fuerzas centrípetas hacen que desde determinadas zonas haya un efecto tractor; esas fuerzas son, por ejemplo, la existencia de capital humano cualificado en las actividades que se van a desarrollar dentro del amplio espectro de esta industria o, en otro caso, la tradición en la actividad aeronáutica o muy similar, o un tejido empresarial dispuesto a grandes inversiones a riesgo y a largo plazo (López *et al.*, 2012: 35; Niosi y Zhegu, 2005; Casalet, 2013a; Office of Aerospace and Automotive Industries International Trade Administration, 2007).

Las empresas líderes, también llamadas OEM, que como se mencionó anteriormente son cuatro en el mundo, realizan el ensamble final de aviones y helicópteros, la fabricación de algunas partes y componentes, el diseño y desarrollo de nuevos modelos de avión, así como la venta al cliente final; son las grandes empresas que se encargan de dirigir y coordinar las actividades en toda la cadena.

Otras compañías con igual importancia en la cadena productiva son los fabricantes de partes esenciales para el avión, como el motor, a pesar de que pueden ser considerados proveedores de las OEM, en realidad la relevancia en valor y contenido tecnológico que representa el motor hace que dichas empresas puedan ser consideradas al mismo nivel que las OEM (SE, 2012).

Posteriormente se tienen los proveedores de primer nivel (Tier I), que son los segundos en importancia (después de las OEM), participan en actividades de ensamble, fabricación de productos de alto valor agregado e integración de grandes subsistemas. Los proveedores de primer nivel son principalmente aquellos que proporcionan directamente a las OEM los bienes y servicios que incluyen, desde piezas para la producción de componentes, ensambles y accesorios, hasta materias primas, diseño,

ingeniería u otros servicios. Algunas de estas partes son: aeroestructuras, sistemas de aviónica, motores, interiores del avión, tren de aterrizaje, actuadores, fuselajes, entre otros.

Los proveedores de primer nivel están preparados para asumir una mayor parte del desarrollo de la tecnología aeronáutica, la fabricación y el empleo como consecuencia de la evolución de las estrategias de la cadena de suministro de las OEM (AeroStrategy, 2009).

Los proveedores de segundo nivel (Tier 2) son empresas especializadas en montajes de diversos subensambles y secciones para integrarse a aeroestructuras, sistemas de aviónica, motores, interiores del avión y tren de aterrizaje (SE, 2012). Los proveedores de tercer nivel (Tier 3) son empresas pequeñas especializadas en el diseño y/o fabricación de partes y componentes elementales como tornillos, cristales, cubreasientos, etcétera.

Por último, en la cadena productiva de esta industria se observan los proveedores de ingeniería y diseño, así como los de bajo costo, especialistas en la producción de determinados componentes y procesos específicos.

Una vez que se han revisado los aspectos anteriores por las OEM, se procede a la integración de la cadena productiva, es decir, la distribución de las actividades entre los diferentes proveedores que conforman la cadena de valor. Las grandes actividades que implica la producción de un avión con proveedores de todo el mundo se describen a continuación:

- 1) *Aeroestructuras y ensamblaje*: Estas son actividades con un alto coste de producción. Las compañías de este segmento, situadas en un principio en Francia y Alemania, están deslocalizándose a países con menores costes de producción, ya sea por medio de la subcontratación o reubicando plantas en distintos destinos del mundo.
- 2) *Motores*: Gran parte del negocio en el ámbito de los motores está en el mantenimiento y en el servicio posventa. Este y las reparaciones de los motores generan aproximadamente dos o tres veces más ingresos que el propio valor de venta del motor. Los grandes fabricantes de motores comparten riesgos y costes de desarrollo (Comunidad de Madrid, 2014: 23).
- 3) *Trenes de aterrizaje*: El suministro de trenes de aterrizaje para grandes aviones está marcado también por un duopolio de empresas entre Messier Dowty y Goodrich.

- 4) *Aviónica*: Estos componentes se caracterizan por unos costes de producción bajos, pero elevados para el desarrollo. La aviónica representa aproximadamente entre 30 y 35% de los costes de desarrollo de un avión comercial y tan solo entre 10 y 15% de los de producción (Comunidad de Madrid, 2014).
- 5) *Cubiertas para motores*: Los fabricantes de cubiertas, en especial en la fabricación de motores, tienen una colaboración muy estrecha, el segmento de cubiertas de motores está manejado también por un duopolio formado por Safran/Aircalle y Goodrich (Comunidad de Madrid, 2014).

## La cadena de valor

Actualmente los cambios en la organización de la producción y la localización y relocalización de ciertos procesos productivos en distintos países del mundo han provocado una nueva organización de la cadena de valor de la industria, tanto a nivel horizontal (entre fabricantes) como vertical (entre eslabones de la cadena de suministros). “Los procesos de integración y concentración empresarial han tenido un impacto significativo tanto en el volumen de la actividad como en los procesos operativos y han configurado un escenario en el que las organizaciones despliegan estrategias cada vez más competitivas” (Comunidad de Madrid, 2014: 25).

A nivel de la integración horizontal, los fabricantes han emprendido y culminado a lo largo de la historia procesos de integración y alianzas que se han traducido en una considerable reducción en el número de actores, con una gran fuerza tractora y apoyados por un número variable de pequeños y medianos suministradores para las diversas fases de construcción aeronáutica (Comunidad de Madrid, 2014).

En cuanto a la integración vertical en la cadena, los suministradores del sector han pasado también por un proceso de concentración mediante el cual han configurado un entorno marcado por unos pocos abastecedores de primer nivel (Tier 1), que subcontratan a su vez trabajos y subsistemas a otros proveedores de menor tamaño y alta especialización (Tier 2 y Tier 3), con el objetivo de reducir costos y compartir riesgos económicos; esto ha hecho que aparezcan nuevos actores, como China y Rusia (Comunidad de Madrid, 2014).

Las pymes también son importantes actores en el sector aeronáutico en general, tanto a nivel nacional como en la mayor parte de los países del entorno internacional; se trata de compañías muy especializadas en tecnología y productos, con un gran *know-how* acumulado. Sin embargo, en muchas ocasiones su pequeño tamaño complica la adaptación a los nuevos y cada vez más exigentes requisitos de los grandes fabricantes (Comunidad de Madrid, 2014).

### Tamaño y estructura de mercado

A partir del año 2000 se dio una etapa de reorganización mundial, unos pocos grandes grupos han configurado el entorno competitivo actual, tanto a nivel local como internacional.

A través de estas etapas, se ha pasado de 21 compañías a 4 grandes actores en Europa (Airbus, Thales, Finmeccanica y BAE Systems) y de 26 a 4 en Estados Unidos (Boeing, Lockheed Martin, Northrop Grumman y Raytheon), lo que marca sin duda las relaciones entre los diferentes agentes del sector, especialmente en lo que se refiere a la cadena de suministros (Comunidad de Madrid, 2014: 27).

A partir de 2004 las ventas del sector aeronáutico en el mundo han ido en aumento debido a la demanda de nuevos aviones y por el surgimiento de aerolíneas denominadas de bajo costo, así como por el aumento en el número de pedidos para la renovación de la flota de aviones por parte de países asiáticos, principalmente China. Además países como la India están aumentando la demanda interna de aeronaves y creando una estrategia para migrar de la inversión e impulso de la industria de aviones de defensa a la comercial (Mani, 2010). Las ventas en el sector contabilizan 450 000 millones de dólares (AeroStrategy, 2009). Estados Unidos de América es el país con mayores ingresos en la industria aeronáutica, generando entradas por 204 000 millones de dólares, 45.3% del total, enseguida Francia, el Reino Unido y Alemania, que son los socios principales de la empresa Airbus.<sup>2</sup> Canadá se ubica en la quinta posición con

---

<sup>2</sup> Principal empresa de Europa dentro de la industria aeroespacial.

ingresos de 22 000 millones de dólares; Brasil se encuentra en el décimo lugar; es importante resaltar que las principales empresas fabricantes de aviones y motores en el mundo son originarias de estos países. México se encuentra ubicado en el decimoquinto lugar a nivel mundial (AeroStrategy, 2009).

### *Segmentos de mercado de la industria aeronáutica*

La industria aeronáutica se puede dividir en cuatro segmentos de mercado: *a*) la fabricación de aviones de mayor capacidad (también nombrados aviones comerciales), *b*) la fabricación de aviones de menor capacidad (aviones sectoriales), *c*) aeronaves de aviación general (aviones ejecutivos) y helicópteros, y *d*) la parte de MRO (mantenimiento, reparación y operaciones), que pueden utilizarse tanto en el ámbito civil como en el militar.

#### *a) Aviones de mayor capacidad*

Se refiere a la producción de aviones con capacidad para más de cien pasajeros y comúnmente se utilizan para vuelos largos; la producción está concentrada en los dos fabricantes más grandes del mundo en esta industria: Boeing<sup>3</sup> y Airbus (SE, 2012).

#### *b) Aviones de menor capacidad*

En cuanto a los aviones de menor capacidad (menos de 100 pasajeros), enfocados a satisfacer necesidades en servicios sectoriales,<sup>4</sup> la demanda ha registrado un auge en los últimos años derivado principalmente del surgimiento de las aerolíneas sectoriales o de bajo costo, así como por la necesidad de reducir costos de operación. Entre los principales fabricantes de este tipo de unidades se encuentran la canadiense Bombardier y la brasileña Embraer, las cuales en conjunto cuentan con una participación en el mercado de más de 90%, aunque existen empresas que recientemente están incursionando en este segmento con importantes proyectos como Mitsubishi Heavy Industries Ltd. (Japón) y Sukhoi Company (Rusia) (SE, 2012).

---

<sup>3</sup> Principal empresa de los Estados Unidos de América y considerada la número uno en el mundo en la industria aeroespacial.

<sup>4</sup> El segmento de aviones sectoriales depende de la demanda de las aerolíneas (SE, 2012).

c) Aeronaves de aviación general (aviones ejecutivos) y helicópteros

En este segmento se encuentran los aviones ejecutivos o pequeños que generalmente son utilizados para flotillas privadas y taxis aéreos, entre otros usos. El sector de aviación general representa un mercado de alrededor de 19 000 millones de dólares, con 1865 aviones vendidos en 2011. La flota de este tipo de aviones en el mundo es de 320 000 unidades, de las cuales más de 71% se localiza en los Estados Unidos de América (SE, 2012).

Este segmento incluye tres tipos de aviones: aeronaves con motor a pistón, comúnmente conocidas como avionetas, los aviones turbopropulsados o turbohélice, y los jets o aviones ejecutivos; los principales fabricantes de este tipo de avión son Cessna, que participa con 26.9% del mercado, Bombardier (26.7%), Gulfstream (15.7%) y Embraer (14.5%), salvo esta última, todas cuentan con filiales en México realizando operaciones de manufactura y ensambles parciales de partes aéreas (SE, 2012).

d) Mantenimiento, reparación y modificación

El tamaño del mercado de las actividades de mantenimiento, reparación y operaciones es superior a los 100 000 millones de dólares, tomando en cuenta el segmento correspondiente a la aviación militar; sin embargo, considerando únicamente lo que se refiere a MRO de transporte aéreo es de alrededor de 43.6 mil millones de dólares, de los cuales 35% corresponde a conservación de motores, 23% a componentes, 20% a mantenimiento en línea, 15% a aeroestructuras y 7% a modificaciones (AeroStrategy, 2009).

Las actividades de servicio de MRO implican revisión, limpieza, lubricación y reemplazo y/o reparación de partes menores del avión. El mercado del MRO crece a la par que se incrementa la demanda del tráfico aéreo; existen grandes oportunidades de inversión en este rubro en países emergentes de Asia-Pacífico, Medio Oriente y América Latina. Sin embargo, esos países carecen de experiencia e infraestructura para dar mantenimiento y apoyo, por lo que son mercados atractivos de inversión de las grandes armadoras en los centros de mantenimiento y los de distribución de piezas de servicio.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Los países más populares para este tipo de inversiones son Singapur y China. Por otro lado, empresas como Bombardier han llevado inversiones, además de a China, a Brasil, Dubái, los Estados Unidos de América y Francia (AeroStrategy, 2009).

Las empresas de MRO se dividen en tres categorías principales: *a*) los fabricantes de equipos originales (OEM), *b*) las líneas aéreas, y *c*) los contratistas independientes (AeroStrategy, 2009; Office of Aerospace and Automotive Industries International Trade Administration, 2007).

## **Innovación y convergencia en la industria aeronáutica**

En muchos ámbitos de la producción actual, como es el caso de la industria aeroespacial, los procesos de convergencia responden a la complejidad de la fabricación actual que está cada vez más determinada por procesos que se sustentan en innovación, creatividad y una amplia colaboración entre las empresas y las universidades para hacer efectivas nuevas soluciones a las necesidades básicas de la sociedad y del mundo empresarial. En general la manufactura sigue siendo una fuente de innovación de productos, procesos de producción y comercialización (Casalet, 2013b; Larsen *et al.*, 2009).

En el capítulo V. Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial, de este libro, Casalet hace un extenso y nutrido análisis de los desafíos que conlleva esta nueva forma de producción, donde se requieren enfoques multidisciplinarios que utilicen intensivamente la confluencia tecnológica enlazando el desarrollo de las TIC, la biotecnología, la nanotecnología y la manufactura digital para introducir materiales de vanguardia que cambian las formas de fabricación de los productos existentes y el surgimiento de productos nuevos (Casalet, 2015).

La industria aeroespacial se caracteriza por actividades de competencia, pero también de colaboración para la concepción del producto final que rebasa fronteras. Existe cooperación entre países (sede de las OEM) para el desarrollo de I+D, pero competencia en la producción (movilidad de la producción y acceso a proveedores) y venta al cliente final. La activa competencia entre países industrializados y emergentes presiona sobre los gobiernos y las empresas para adoptar respuestas innovadoras en la resolución de los problemas de seguridad, reducción de tiempos, contaminación y aplicación de tecnologías avanzadas que mejoren los procesos de producción en las OEM y en la cadena de proveedores (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151).

En esta dicotomía de competencia-cooperación florecen actividades de innovación, pero sobre todo el uso y aplicación de un enfoque amplio de convergencia de conocimiento y tecnologías que contribuye a desdibujar fronteras de la industria a nivel territorial y de conocimiento en ámbitos científicos, tecnológicos y de mercados, que trabajan para dar solución a problemas productivos y de tecnología, pero sobre todo para sortear obstáculos en la concepción de un producto altamente complejo y con una producción geográficamente distribuida.

El nuevo paradigma productivo basado en la convergencia del conocimiento y tecnologías diluye los límites entre industrias, contribuye a la resolución de los desafíos complejos de la producción, crea nuevos nichos de especialización, suscita nuevas formas de gestión y comercialización y, por ende, genera y a la vez se alimenta de la innovación en productos y procesos (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151).

El aeronáutico es un sector intensivo en ingeniería por el alto uso que se hace de tecnología (CEPAL, 2007). Esta industria tiene una gran dependencia de innovaciones y actividades de I+D que le ayudan a desarrollar y fabricar un producto altamente complejo, intensivo en capital, con una vida útil muy larga que demanda el desarrollo continuo de nuevas tecnología de vanguardia en la producción industrial y capital humano altamente calificado con experiencia en el sector industrial en general.

La industria aeronáutica está inserta en el paradigma de manufactura avanzada, el cual requiere modernización y actualización continua de procesos y productos. Se da una mezcla de distintos sectores, que mediante un proceso de integración y a la vez de convergencia de diversas tecnologías se ensamblan en el proceso productivo y posteriormente en el producto final.

Estas condiciones sumamente específicas hacen a este sector tan particular y complejo. En este apartado se pretende analizar el papel de la innovación y la convergencia en el sector aeronáutico, para ello se busca dar respuesta a la pregunta planteada al inicio.

En la historia productiva de la industria aeronáutica se puede observar el proceso de transformación de la ingeniería tradicional a la ingeniería colaborativa como una forma de innovación organizacional y productiva que ha permitido dar respuesta a la demanda en la aeronáutica civil y militar a nivel internacional que ha sido impulsada por las OEM. Algunos ejemplos de procesos que contribuyeron a esta transformación

son la evolución tecnológica del software, la necesidad de acortar tiempos para competir en los mercados y reducir costos manteniendo niveles de calidad en la producción y en la trayectoria de los grupos de trabajo y, sobre todo, la complejidad del diseño y fabricación de un avión que integra infinidad de componentes ensamblados dentro de estructuras de mayor complejidad y manufacturadas (Pardessus, 2001, citado en el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151).

En este sentido, los cambios en la estructura productiva y las nuevas tendencias de la industria conllevan innovaciones continuas y procesos de convergencia con demandas que abarcan diversas disciplinas y ámbitos de aplicación para hacer más eficiente el producto final. El trabajo multidisciplinario es elemento clave para el logro de la convergencia, lo cual plantea oportunidades para la inserción de empresas de otros sectores y con experiencia en manejo de materiales y habilidades productivas específicas, así como para que países alrededor del mundo se incorporen al mapa de producción de este sector.

En la producción de componentes estructurales (por ejemplo) se utilizan materiales compuestos con propiedades particulares que ayuden a hacer el avión más ligero y que respondan a tendencias de uso de menos combustible, con menor impacto en el medio ambiente. Para la concepción de estos materiales se utilizan disciplinas como la nanotecnología, tratamientos térmicos, pruebas y conocimientos de otras áreas para validar su viabilidad, lo que demanda una visión integradora.

En la medida en que exista complementariedad entre las fuentes internas y externas de innovación se tendrán mejores procesos de convergencia, capacidades en las empresas, innovaciones y la posibilidad de acceder tanto a apoyos privados como a incentivos públicos. En este sentido se debe analizar el papel de las fuentes internas y externas para el desempeño del proceso productivo y la competitividad empresarial dentro de este sector. La intensidad tecnológica del sector aeronáutico es muy específica y demandante, lo que obliga a tener diversas certificaciones y requerimientos de calidad, que exige a las empresas cubrir requerimientos tecnológicos y organizacionales particulares, por lo que surge la pregunta: ¿cómo la intensidad tecnológica condiciona la captación de conocimiento y el desarrollo de capacidades tecnológicas y de absorción?

Es un sector donde el desarrollo de innovaciones es clave y marca la competitividad de las empresas. Además de realizar gastos en I+D, las

empresas líderes se mueven hacia países con centros de excelencia tecnológica, para acceder a tecnología complementaria e integrarla a su base de conocimiento. Algunos autores plantean que muchas innovaciones de la aeronáutica posteriormente se aplican a otros sectores, por ser punteros en nuevos desarrollos y aplicaciones (Eliasson, 2010).

En el sector aeronáutico las empresas líderes mantienen producción en muchos países en todo el mundo, lo que genera un alto grado de exigencia y competencia entre países y empresas proveedoras por tener participación en la producción. Las empresas deben mejorar sus habilidades y capacidades para tener una posición dentro de la cadena de valor global y responder a las demandas del sector en términos de nuevas tecnologías para la organización de la producción. Los cambios en esta y la demanda creciente de aviones en todo el mundo han obligado a que las empresas se actualicen y generen capacidades tecnológicas que respondan rápidamente a las demandas del mercado. Las empresas (especialmente las Tier 1, 2 y 3) deben realizar actividades de mejora continua y desarrollar habilidades en el uso de materiales, certificaciones, ingeniería y organización de la producción para cumplir con los estándares productivos y de calidad que demanda el sector.

Es una industria que va siempre adelante en desarrollo tecnológico, lo cual se puede explicar también por las raíces y la estrecha relación que tiene con la fabricación militar, en donde históricamente se han germinado grandes desarrollos tecnológicos en la aviación; ambas industrias comparten complejos desarrollos tecnológicos que son indispensables para los dos sectores.

La generación de conocimiento, el flujo constante tanto de conocimiento tácito como explícito, el constante aprendizaje tecnológico y el desarrollo de capacidades tecnológicas es fundamental para mantener su éxito. Esto ayuda a crear una ventaja competitiva sostenible para generar nuevos productos y servicios difíciles de imitar (Barney y Clark, 2007).

Las altas inversiones en I+D y nuevos diseños (por parte de las OEM) hacen de la propiedad intelectual un factor muy importante para proteger las innovaciones. Las empresas líderes eligen mercados donde las leyes de protección a la propiedad industrial estén bien reguladas, con ello protegen su *know how* frente a los competidores potenciales.

La intensidad tecnológica en sus actividades hace que acumulen capacidades para la gestión del cambio tecnológico, lo que influye en su

desempeño en el mercado, y como plantean Bell y Pavitt (1995), ayuda a tener una eficiencia técnica y altos márgenes de competitividad en la calidad del producto.

En la aeronáutica se desarrollan y mejoran constantemente capacidades tecnológicas, organizacionales, productivas y relacionales; la mezcla de ellas hace a este sector altamente competitivo y con elevados márgenes de desarrollo tecnológico. Es una industria condicionada por el avance tecnológico, por lo que requiere del apoyo de los gobiernos para el logro de la I+D. Donde existen mayores apoyos del gobierno se tienen más grandes desarrollos dentro del sector. Las redes existentes permiten una organización sectorial interfuncional, donde se tejen diversas alianzas estratégicas, acceso a recursos, aprendizaje y ventajas competitivas para las empresas, que les permiten seguir compitiendo y tener mejor rendimiento financiero.

### Importancia de las fuentes internas y externas de innovación en la industria aeronáutica

Autores como Mowery han realizado estudios para explicar la importancia de las actividades de cooperación para la I+D en las empresas. En un estudio empírico realizado en 1983 en industrias manufactureras estadounidenses, plantea ciertas hipótesis y conclusiones sobre la relación entre el tamaño de la empresa y las actividades de I+D que se realizan dentro de ella y las que se efectúan de forma externa con instituciones de investigación independientes.

Mowery (1983) resaltó el aspecto positivo de realizar actividades de I+D internas, porque hay interacción directa con el conocimiento técnico, el cual es la base para el buen funcionamiento de la investigación interna y se refleja en la calidad del producto final. Concluye que existe una relación de complementariedad entre la existencia de un centro de investigación dentro de la empresa y las actividades de investigación fuera de ella, y plantea que las actividades independientes de I+D no deben verse como sustitutos de la investigación interna.

Para el caso de la industria aeronáutica, existe una relación de complementariedad entre la I+D interna y la que se genera fuera de las firmas. Sin embargo, en años recientes se observa un alto crecimiento de

actividades de I+D fuera de la empresa; es una industria que está a la vanguardia en tecnología y uso de materiales cada vez más complejos, lo que hace que la I+D sea muy costosa y requiera de relaciones de cooperación entre las distintas empresas para costear tanto el personal como los laboratorios necesarios para nuevos desarrollos. Esta forma de actuar tiene que ver con la propuesta de Fagerber (2003), quien plantea que la creciente complejidad de la base de conocimientos necesarios para generar innovaciones, influenciada por la competencia y la globalización de los mercados, ocasiona que incluso grandes empresas dependan cada vez más de fuentes externas en su actividad innovadora.

Cabe destacar que en esta industria cada empresa realiza actividades y pruebas *in house*, es decir, no se delegan todas las actividades de I+D al exterior, sino que existen acciones específicas que ellas mismas desarrollan para sus productos en particular. Al ser un sector altamente competitivo se busca tener presencia en los laboratorios externos más reconocidos de ciencia básica y aplicada donde se hacen pruebas y existen avances en nuevas tecnologías y materiales, que pueden ser aplicados en la aeronáutica, por ello realizan contratos de cooperación para compartir gastos y riesgos y poder participar de los resultados de estas investigaciones.

El aprendizaje surge tanto del interior como del exterior de este sector. Las actividades de I+D son fundamentales para obtener aprendizaje e innovaciones; estas actividades interactúan de forma externa porque hay vínculos de cooperación con agentes externos y como fuente interna para asimilar y explorar las pruebas, mejoras e innovaciones dentro de la empresa.

Al interior las firmas se apoyan en las capacidades de absorción para explorar y asimilar conocimiento disponible en el ambiente. Se muestra un equilibrio entre lo interno y lo externo, lo cual es una de las fortalezas de este sector. Asimismo son una base de éxito, ya que permiten a una empresa reconocer, comprender y utilizar el conocimiento de fuentes externas. Las capacidades de absorción son una función del nivel de educación y de la permeabilidad de los empleados. La infraestructura tecnológica y el apoyo a la gestión son esenciales para desarrollar y mantener las demás capacidades en la empresa (Cohen y Levinthal, 1990).

En relación con la interrogante que guía este apartado: ¿qué peso tienen en este sector las fuentes internas y las externas y qué nivel de complementariedad hay en la determinación de la innovación?, se observa un

alto grado de complementariedad entre fuentes internas y externas; por un lado las externas permiten tener acceso a información de vanguardia para la innovación y desarrollo de I+D en cooperación con otros agentes, y por el otro, las internas permiten tener acceso a conocimiento y desarrollo de actividades a través de la transferencia de tecnología eficiente que permite generar mecanismos de aprendizaje endógenos.

Las innovaciones de producto son fundamentales. El dominio de la intensidad tecnológica ocurre mayoritariamente por las empresas líderes que tienen altas inversiones en centros de investigación y desarrollo para la generación de nuevas tecnologías; es en este nivel donde las innovaciones de producto florecen. En cuanto a las innovaciones de proceso, estas se desarrollan con mayor intensidad dentro de las organizaciones que usan y transforman las tecnologías que provienen del exterior para el desarrollo de sus productos y para cumplir con las demandas del cliente.

En conclusión, en este sector hay una suerte de coordinación entre la I+D, la innovación, el desarrollo de capacidades y la convergencia de conocimiento y tecnología que obedecen a la intensidad tecnológica que demanda el sector, por ello se desarrollan diversas estrategias de complementariedad entre fuentes internas y externas. La coordinación de esta serie de variables permite materializar la tecnología, tener acceso a la información y viabilidad estratégica para responder a las exigencias y a la incertidumbre del mercado.

## **Tendencias de la industria aeronáutica a nivel global**

La importancia de un enfoque convergente adquiere significación por los cambios tecnológicos ocurridos en la transformación industrial, organizativa y de negocios, observable claramente en la gobernanza de la cadena de producción de la industria aeronáutica y en las características particulares que envuelven esta industria. El sector aeroespacial reúne múltiples disciplinas como nuevos materiales, plásticos, telecomunicaciones, electrónica, manufactura aditiva y sustractiva, que paulatinamente diluyen fronteras (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151).

La industria aeronáutica se incorpora ampliamente al enfoque de la convergencia del conocimiento y tecnologías, porque diluye los límites entre las industrias, lo cual contribuye a la resolución de los desafíos com-

plejos de la producción y crea nuevos nichos de especialización, generando otras formas de gestión y comercialización. Este proceso se intensificó por el avance de la globalización y los cambios provocados por la utilización de la ciencia en la producción (Casalet, 2015)

Las tendencias de la aeronáutica están estrechamente relacionadas con esta noción de convergencia, que plantea cambios a nivel industrial, organizacional y en los negocios, lo que abre oportunidades para que nuevas firmas y países tengan participación en la producción y ventas en este sector. Entre las principales de estas tendencias resaltan *a)* cambios en la estructura productiva y de proveeduría, *b)* incremento de la demanda de aeronaves, y *c)* aumento de la cooperación cliente-proveedor y gobierno-industria.

*a) Cambios en la estructura productiva y de proveeduría:* Las oportunidades que ofrece la globalización creciente del mercado abre un abanico de posibilidades para nuevos actores, tanto suministradores como clientes potenciales, sobre todo de países emergentes en el ámbito aeronáutico. El modelo de la industria aeronáutica está cambiando en el mundo, de procesos que antes eran integrados se está pasando a subcontrataciones, lo que implica que para cada componente del avión se busque dónde es más eficiente su producción, lo que abre grandes oportunidades para los países emergentes.

Los esquemas de proveeduría muestran un cambio en la forma de fabricación de aeronaves; en este nuevo enfoque, la integración de sistemas, en lugar de recibir las piezas de decenas de miles de proveedores, se está tratando de trabajar con un pequeño número de empresas para proporcionar grandes subconjuntos de piezas;<sup>6</sup> las grandes empresas pretenden que estos proveedores asuman el costo de la integración de los subconjuntos. Las tendencias indican que incluso se buscarán proveedores externos para el diseño de ciertas partes del avión (Office of Aerospace and Automotive Industries International Trade Administration, 2007).

---

<sup>6</sup> Este nuevo modelo es llamado Tier 1, en el que los proveedores de primer nivel adquieren la responsabilidad de las partes y componentes de abastecimiento para su propios sistemas y que ya no dependan de las OEM para la toma de decisiones en temas como elección de materiales y proveedores y cómo operar, e incluso toman decisiones de movilidad hacia otros países en busca de mejores costos.

Este cambio está más enfocado a la parte de gestión que tecnológica, lo que obliga a muchos proveedores de nivel 1 a mejorar sus capacidades de integración de sistemas y a asumir nuevos niveles de riesgo comercial. Lo anterior refleja cómo los fabricantes de equipos originales de aeronaves han transferido cada vez mayores responsabilidades a sus proveedores<sup>7</sup> (AeroStrategy, 2009; SE, 2012).

De igual forma, las actividades de MRO se están moviendo hacia países como Brasil, México y los Estados Unidos de América, por ser actividades intensivas en mano de obra, como es el caso del mantenimiento pesado de fuselajes que complementan las agrupaciones existentes de MRO en el sur de California, el centro los Estados Unidos de América, el sur de Florida, y en Quebec, Canadá. En Europa estas actividades se están moviendo hacia Medio Oriente, África y Europa del Este. Por el contrario, las actividades de MRO en el motor y los componentes intensivos en capital siguen centrando sus actividades en economías avanzadas (AeroStrategy, 2009).

b) *Incremento de la demanda de aeronaves*: Se observa una tendencia hacia el aumento del tamaño de los aviones comerciales de primer nivel, lo que implicará nuevas órdenes y pedidos con distintas configuraciones, que diversificarán las flotas y las infraestructuras (Comunidad de Madrid, 2014: 6).

De acuerdo con los pronósticos del mercado global reportados por la empresa Airbus, el mercado demandará casi 28 000 nuevos aviones comerciales grandes de transporte de pasajeros y de carga entre 2011 y 2030. La flota mundial de 16 600 aviones en 2010 crecerá más del doble, hasta los 34 870, en el año 2030. De los 27 850 aviones que se van a demandar, 26 920 serán aviones de pasajeros, de los cuales 10 500 servirán para reemplazar aviones antiguos y menos eficientes (Airbus Group, 2013).

El alto crecimiento de la aviación en Asia y el Pacífico, por ejemplo, significa que para 2018 las compañías aéreas sumarán cerca de 3000 aviones a su flota regional. Las regiones potenciales de aumentar su trá-

---

<sup>7</sup> Las OEM han tomado estas estrategias con la finalidad de compartir los costos de inversión, reducir los gastos generales y centrarse en actividades de mayor valor agregado.

fico aéreo son: Asia-Pacífico, Medio Oriente y América Latina (Aero-Strategy, 2009).

De igual forma la necesidad de reemplazo de aviones actualmente en servicio por otros más eficientes, el ritmo de crecimiento de los mercados emergentes, el crecimiento de aerolíneas de bajo costo, particularmente en Asia, la emergencia de nuevos materiales y tendencias en la producción de aviones cada vez más grandes y eficientes abre otras ventanas de oportunidad para las empresas.

En cuanto a pronósticos realizados por la empresa Boeing, para 2030 la entrega de aviones crecerá, por lo que la flota mundial pasará de 19 410 aviones en 2010 a 39 530 para 2030, lo que representa un crecimiento de 103.6% y genera una perspectiva favorable para el crecimiento de la industria aeronáutica en el mundo (SE, 2012).

Debido a la emergencia de nuevos mercados como China, las tendencias apuntan a un mayor crecimiento de alianzas para compartir capital de riesgo, y existe un crecimiento de *joint venture* para hacer frente a la emergencia de nuevos actores. Por otro lado, está creciendo la importancia de los proveedores de nivel 1, en relación con actividades de alto valor agregado y generación de empleos.<sup>8</sup>

En un futuro cercano la comodidad mejorada de los aviones estará determinada por el diseño y manufactura de fuselaje con nuevos materiales, como los compuestos de carbón, produciendo aviones más ligeros con mayor espacio de aprovechamiento en sus interiores y consecuentemente los beneficios para el medio ambiente por la eficiencia del combustible y su mejor funcionamiento (Office of Aerospace and Automotive Industries International Trade Administration, 2007; SE, 2012).

c) *Aumento de la cooperación cliente-proveedor y gobierno-industria*: En Inglaterra y los Estados Unidos de América las tendencias apuntan a desarrollar el proceso de fabricación compartiendo recursos, desde la investigación básica hasta aquella enfocada a actividades específicas del proceso productivo, compartiendo recursos de I+D entre empresas y países líderes.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Entrevista al director de HEGAN, Bilbao, España, 30 de abril de 2014.

<sup>9</sup> Entrevista al director de HEGAN, 30 de abril de 2014.

La cooperación para la I+D no es una tarea fácil, el aumento y consolidación de la relación cliente-proveedor a lo largo y ancho de la cadena de producción es una tarea complicada, pero las tendencias apuntan a una mayor comunicación en todas las partes de esta cadena. Así como mayores alianzas y cooperaciones, y una relación más fluida entre cada elemento de la cadena, en relación con estrategias de largo plazo y cooperación para la I+D.

En cuanto a la colaboración entre gobierno e industria, la razón para efectuarla es la creación de empleos y exportaciones de alto valor agregado en una época de creciente movilidad de capital y de recursos humanos; en algunos casos la motivación incluye la seguridad nacional y la creencia de que un sector aeronáutico saludable crea una imagen positiva y de alta tecnología (AeroStrategy, 2009).

## Oportunidades de convergencia

Las tendencias de la industria descritas en el apartado anterior son una fuente de oportunidades de convergencia tecnológica y sectorial; sus procesos incorporan nuevos actores en sectores como la nanotecnología, las TIC, maquinados y recursos humanos con nuevas cualificaciones. Para que se dé la colaboración en estos campos de conocimiento es necesaria una serie de innovaciones que permitan un trabajo colaborativo y multidisciplinario. La innovación y las capacidades de innovación en un país o industria determinan su avance hacia un enfoque de convergencia tecnológica que permita que se dé una multidisciplinariedad y verdaderos avances en la calidad y diseño de los productos.

Un ejemplo claro de convergencia en este sector es la ingeniería colaborativa. Como se expuso en el primer capítulo de este libro, la industria aeronáutica es altamente multidisciplinaria y fragmentada en subconjuntos desarrollados por proveedores, que a su vez dividen el ensamblaje bajo su responsabilidad en subconjuntos en todo el ciclo de la cadena de valor, que abarca desde el diseño, producción y distribución (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151).

Esta forma particular de producción genera dinamismo continuo entre actores gubernamentales y empresariales para dar respuesta efectiva a las demandas y competencia internacional, que han dado lugar a nuevos

procesos organizativos y productivos como la ingeniería colaborativa, permitiendo la articulación entre estos y desarrollándose en distintos países.

El concepto de ingeniería colaborativa supone la construcción de un entorno de diseño aeroespacial donde el equipo de trabajo se convierte en una estructura interactiva gracias a los medios electrónicos, que logran reunir los mejores talentos distribuidos geográficamente para desarrollar capacidades de análisis y diseño de los sistemas aeroespaciales integrados, en conjunto con las herramientas de punta para estimar costos y evaluación de riesgos (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, p. 139).

Esta forma de organización juega un papel importante en la cadena de producción, permite cumplir los estándares de calidad, integrar nuevos actores (por ejemplo pymes), usar herramientas digitales y plataformas de TIC, y eficientar la producción y distribución a nivel mundial. La organización de la demanda incorpora nuevos actores (en ocasiones países) en la escena productiva y en la movilidad de la producción. A pesar de ser un sector con altas barreras de entrada por los requerimientos de calidad, certificaciones y jerarquía que lo caracterizan, ofrece nuevas oportunidades de negocio.

El aumento de la demanda lleva implícitos procesos de convergencia para cubrir los requisitos en términos de normatividad, flexibilidad, producción, aspectos organizativos y formas de vinculación entre las empresas. En esta industria converge una serie de disciplinas, como nuevos materiales, manufactura avanzada, plásticos, telecomunicaciones, electrónica, entre otros.

La convergencia es un fenómeno que debe transitar por la transformación de un régimen actual de producción, aplicación y transferencia de conocimiento hacia la conformación de un nuevo régimen; plantea un proceso multidisciplinario de interacciones para crear nuevos resultados (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151). Un proceso de convergencia utiliza plataformas tecnológicas con nuevos procesos y materiales que plantean la utilización de conocimiento entre diferentes disciplinas y aplicaciones. La propuesta de la convergencia alude a los distintos tipos de elementos o servicios requeridos para dinamizar diferentes tipos de procesos que van más allá de recursos tangibles. La noción de convergencia supone la emergencia de nuevas herramientas tecnológicas

que no se vinculan a una sola disciplina, sino que se integran en torno a objetivos de investigación e ingeniería en interfaces como los roles de la innovación, la sustentabilidad, la eficiencia y el potencial humano (Lundstrom y Wong, 2013).

Las nuevas estrategias basadas en la convergencia tecnológica involucran la cooperación entre clientes y proveedores y sobre todo el papel del gobierno como actor estratégico y facilitador de procesos de convergencia. Las universidades, centros de I+D, parques científicos y otras organizaciones intermedias sectoriales también ayudan al desarrollo de plataformas tecnológicas de carácter regional que permiten ligar clústeres y redes multisectoriales con potencial para desarrollar aplicaciones tecnológicas convergentes; estos procesos de confluencia florecen en las tendencias actuales y potenciales de la industria aeronáutica.

En la medida en que la innovación (y sus fuentes internas y externas) florezca se podrán tener procesos de convergencia tecnológica y de conocimiento (partiendo de que la innovación y la convergencia van de la mano, o se complementan), lo cual, como se ha evidenciado en este trabajo, ocurre en la industria aeronáutica, que al enmarcarse en la manufactura avanzada ofrece nuevas oportunidades para la industria y para que países como México desarrollen actividades de mayor valor agregado y se incorporen a actores como las pymes, universidades y recursos humanos (a través de la generación de empleo), lo cual conlleva un beneficio para la sociedad en general.

## Conclusiones generales

Las nuevas tendencias que ofrece el sector aeronáutico no solo son importantes en la generación de procesos productivos, sino que cada vez, en las actividades innovadoras, se deben considerar aspectos como la calidad, que además de la producción, se integran a las modalidades de organización y de comercialización (Martínez, 2002).

La industria aeronáutica ofrece diferentes oportunidades de innovaciones en la generación de nuevos productos y métodos de producción, debido a los múltiples sectores y procesos que convergen para la fabricación del producto final. Es una industria que desarrolla y fabrica un producto muy complejo, con altos márgenes de dependencia en actividades

de I+D e innovaciones; su desarrollo requiere de tecnología de punta y de vanguardia en la línea de la tecnología industrial. Con respecto a otras industrias, genera tecnologías nuevas y ampliamente probadas, así como el suministro de trabajadores e ingenieros altamente calificados y con experiencia para la industria en general. Al presentar características específicas se diferencia de otros sectores industriales que lo hacen tener una posición y localización a escala mundial.

El aspecto financiero es central para la innovación y la competitividad del sector. Cualquier desarrollo, por pequeño que parezca, demanda grandes inversiones y cooperación de diversas empresas alrededor del mundo; la innovación tecnológica tiene un alto impacto en los presupuestos, por lo que resultan habituales las colaboraciones entre distintas empresas para diferentes desarrollos, incluso cuando son competidoras. Por esta razón, el sector tiene una estructura empresarial donde pocos grupos industriales son líderes y tienen el poder de decisión; dichos grupos contratan una variedad de compañías grandes, pequeñas y medianas en todos los países donde se tienen oportunidades y capacidades para invertir.

La concepción del producto final demanda periodos de planeación y producción muy largos, así como cooperación para las inversiones que requiere. El papel de los gobiernos ha sido fundamental para el logro del equilibrio entre el mercado, la generación de productos innovadores, los procesos de convergencia y los resultados financieros.

Algunos gobiernos desempeñan un papel importante en la inserción de nuevos actores al sector; en ciertos casos demandan la participación de empresas locales en el proceso de producción de aviones como condición para firmar contratos de compra o inversiones productivas en algunos países.

El desarrollo y crecimiento de esta industria depende de las innovaciones en cada parte del producto y de las actividades de I+D para su concepción; en consecuencia, es un sector muy dinámico para desarrollar y fabricar un producto altamente complejo, con una vida útil muy larga, intensivo en capital con un desarrollo continuo de nuevas tecnologías de vanguardia en la producción industrial.

En cuanto al peso que tienen en este sector las fuentes internas y externas de innovación y el nivel de complementariedad para determinar las capacidades productivas dentro del sector, existe una relación de apoyo entre la I+D interna y la que se genera fuera de las firmas. En la ac-

tualidad se observa un alto crecimiento de actividades de I+D externas a las empresas aeronáuticas, que buscan estar a la vanguardia en tecnología y uso de nuevos materiales cada vez más complejos y con contenido de avances tecnológicos que convergen de varias industrias transversales, lo que hace que la I+D sea muy costosa y requiera de relaciones de cooperación entre las distintas empresas para costear tanto el personal como los laboratorios necesarios para nuevos desarrollos.

La intensidad tecnológica del sector aeronáutico es muy específica y compleja, se fundamenta en diversas certificaciones y requerimientos de calidad para cubrir los avances tecnológicos y organizacionales particulares que demanda la industria tanto al nivel de la empresa como del mercado.

En conclusión, se observa un alto margen de complementariedad entre fuentes internas y externas de innovación; por un lado, las externas permiten tener acceso a información clave para la innovación y desarrollo de I+D en cooperación con otros agentes y, por el otro, las internas permiten tener acceso a conocimiento y desarrollo de actividades a través de la transferencia de tecnología eficiente que permite generar mecanismos de aprendizaje y capacidades endógenas, que se traduce en un producto con altos márgenes de calidad y seguridad.

El dominio de la intensidad tecnológica ocurre mayoritariamente por las empresas líderes que invierten fuertes cantidades en centros de investigación y desarrollo para la generación de nuevas tecnologías. Para el caso de las innovaciones de proceso se desarrollan con más intensidad en empresas que abarcan eslabones de la cadena por debajo de las líderes, las cuales usan y transforman las tecnologías que provienen del exterior para el desarrollo de sus productos y para cumplir con las demandas del cliente.

Finalmente, hay una coordinación estrecha entre la I+D, la innovación y el desarrollo de capacidades que obedecen a la intensidad tecnológica que demanda el sector, por ello se desarrollan diversas estrategias de complementariedad entre fuentes internas y externas. La coordinación de esta serie de variables permite materializar la tecnología, desarrollar procesos de convergencia y tener acceso a la información y viabilidad estratégica para responder a las exigencias y a la incertidumbre del mercado.

Como ya se mencionó, las características y tendencias de la industria aeronáutica están estrechamente relacionadas con el enfoque de convergencia de conocimiento y tecnología, ya que abren oportunidades para

que nuevas empresas y países tengan participación en la producción y ventas en este sector. En estos procesos de convergencia la innovación se puede analizar como un proceso que permite el desarrollo de nuevos productos y servicios que responden a la diversidad de insumos y ámbitos de aplicación que utiliza el sector industrial. Al igual que la convergencia en la manufactura avanzada, se ve claramente en la interacción-colaboración de innovaciones a través de plataformas y redes, que conduce al avance tecnológico multidisciplinario que tiende a borrar fronteras entre disciplinas; si bien este proceso requiere de diversas condiciones institucionales, de políticas públicas, de colaboración entre los sectores público-privado y académico, entre otros. Actualmente, al menos para el sector aeronáutico, se han logrado avances significativos que dan cuenta de procesos de convergencia guiados y que a su vez han producido innovaciones continuas y disruptivas.

Las demandas productivas actuales, como en el caso de la industria aeronáutica, plantean cada vez más un trabajo colaborativo, que integra equipos multidisciplinarios ligados con la fabricación y la colaboración, sostenidos por sistemas informáticos que hacen efectiva la interoperabilidad organizativa (véase el capítulo V de M. Casalet, en este libro, pp. 127-151). Este trabajo colaborativo genera procesos de convergencia tecnológica que permiten la producción de un producto tan complejo donde interactúan diversidad de disciplinas y producción en varias partes del mundo. Las características propias del proceso productivo dentro de la industria aeronáutica son una fuente de investigación y desarrollo continuo y en consecuencia de innovaciones en distintos ámbitos de la producción, pero también de la organización y la distribución, es por eso que se puede ver como un ejemplo de convergencia tecnológica y de conocimiento.

La organización de la demanda incorpora nuevos países en la escena productiva y permite la incorporación de otros actores donde se instala. A pesar de ser un sector con altas barreras de entrada por los requerimientos de calidad, certificaciones y jerarquía que lo caracterizan, ofrece nuevas oportunidades de negocio. El aumento de la demanda lleva implícitos procesos de convergencia para cubrir los requisitos en términos de normatividad, flexibilidad, producción, aspectos organizativos y formas de vinculación entre las empresas. Un proceso de convergencia utiliza plataformas tecnológicas con el uso de nuevos procedimientos y mate-

riales que plantean el desarrollo de otros conocimientos entre diferentes disciplinas y aplicaciones.

Las nuevas estrategias basadas en la convergencia tecnológica involucran la cooperación entre clientes y proveedores, y sobre todo el papel del gobierno como agente estratégico y facilitador de procesos de convergencia. Actores como las universidades, centros de I+D, parques científicos y otras organizaciones intermedias sectoriales también ayudan al desarrollo de plataformas tecnológicas de carácter regional que permiten ligar clústeres y redes multisectoriales con potencial para desarrollar aplicaciones tecnológicas convergentes. Estos procesos convergentes florecen en las tendencias actuales y potenciales de la industria aeronáutica.

## Referencias

- AeroStrategy (2009). *Aerospace Globalization 2.0: Implications for Canada's Aerospace Industry A Discussion Paper*, Canadá. Disponible en <<https://es.slideshare.net/reyyandemir/2009-globalization-for-canadian-aerospace-aerostrategyreyyandemir>>, consultado en febrero de 2016.
- Airbus Group (2013). *Pronósticos del mercado global de la industria aeronáutica*. Disponible en <[www.airbus-group.com](http://www.airbus-group.com)>, consultado el 5 de febrero del 2016.
- Barney, Jay B. y Delwyn N. Clark (2007). *Resource-Based Theory: Creating and Sustaining Competitive Advantage*, Oxford, Oxford University Press.
- Bell, Martin y Pavitt Keith (1995). "The Development of Technological Capabilities", en *Trade, Technology and International Competitiveness*, Washington, The World Bank, pp. 69-101.
- Casalet Ravenna, Mónica (2016). *Convergencia del conocimiento y las tecnologías: Enfoques, dimensiones y aplicaciones*, México. Ponencia en seminario de la red temática del Conacyt Convergencia del Conocimiento para Beneficio de la Sociedad, Infotec, agosto de 2016.
- Casalet Ravenna, Mónica (2015). "El mito de Sísifo. Avances y nuevos desafíos en la apropiación de los paradigmas tecnológicos", en *Innovación tecnológica y procesos culturales*, México, FCE, pp. 215-230.
- Casalet Ravenna, Mónica (2013a). *Nueva institucionalidad para la innovación en América Latina: Efectos de la manufactura avanzada*, Santiago, CEPAL.

- Casalet Ravenna, Mónica (2013b). *La industria aeroespacial: complejidad productiva e institucional*, México, Flacso México.
- Cohen, Wesley y Daniel A. Levinthal (1990). "Absorptive capacity", *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, núm. 1, número especial Tecnología, Organizaciones e Innovación, marzo, pp. 128-153.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2007). *Progreso técnico y cambio estructural en América Latina*, Chile.
- Comunidad de Madrid (2014). *Sector aeronáutico en la Comunidad de Madrid*, Madrid.
- Eliasson, Gunnar (2010). *Advanced Public Procurement as Industrial Policy, The Aircraft Industry as a Technical University*. Edt. Library of Congress Control Number: 2009943545, Nueva York Dordrecht Heidelberg London, Springer Science + Business Media
- Eloa, Aitziber, Jesús María Valdalisio Jesús y Santiago López (2013). "The Competitive Position of the Basque Aeroespacial Cluster in Global Value Chains: A Historical Analysis", *European Planning Studies*, vol. 21, núm. 7, pp. 1029-1045. Disponible en <<http://doi.org/10.1080/09654313.2013.733851>>, consultado en octubre de 2015.
- Fagerberg, Jan (2003). *Innovation: A Guide to the Literature*. Centre for Technology, Innovation and Culture, University of Oslo. Disponible en <[https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/43180/JanFagerberg\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/43180/JanFagerberg_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>, consultado en febrero de 2016.
- Katz, Jonathan (2010). "Advanced Manufacturing: Where is America Today?", *Industry Week*.
- Larsen, Peter Bjørn, Toni Ahlqvist y Karl Friðriksson (2009). *Applying Technology Convergence for Innovation in Nordic Regions*, Oslo, Nordic Innovation Centre (NORDEN).
- Laursen, Keld (2011). "User Producer Interaction as a Driver of Innovation: Costs and Advantages in an Open Innovation Model", *Science and Public Policy*, vol. 38, núm. 9, pp. 713-723. Disponible en <<http://doi.org/10.3152/030234211X13070021633242>>, consultado en febrero de 2016.
- López García, Santiago et al. (2012). *El clúster de la industria aeronáutica y espacial del País Vasco: orígenes, evolución y trayectoria competitiva*, San Sebastián, País Vasco, Sociedad de Estudios Vascos/Instituto Vasco de Competitividad.
- Lundstrom, Mark y Philip Wong (2013). "Convergence Platforms: Foundational Science and Technology Tools", en *Convergence of Knowledge, Technolo-*

- gy and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Springer, pp. 1-52.
- Lundvall, Bengt-Åke (1988). "Innovation as an Interactive Process-from User-Producer Interaction to National Systems of Innovation", en Giovanni Dosi, Christopher Freeman, Richard Nelson, Gerard Silverberg y Luc Soete (eds.), en *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter, pp. 349-367.
- Mani, Sunil (2010). *The Flight from Defence to Civilian Space*, India. Disponible en <[http://www.eria.org/publications/research\\_project\\_reports/fostering-production-and-science-technology-linkages-to-stimulate-innovation-in-asean.html](http://www.eria.org/publications/research_project_reports/fostering-production-and-science-technology-linkages-to-stimulate-innovation-in-asean.html)>, consultado el 5 de febrero de 2016.
- Martínez, Alejandro (2002). *Análisis exploratorio sobre las capacidades tecnológicas adquiridas en el sector metalmecánico de la ciudad de Mar del Plata*, Mar del Plata, Argentina, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Mowery, David (1983). "The Relationship Between Intrafirm and Contractual Forms of Industrial Research in American Manufacturing", *Explorations in Economic History*, vol. 20, pp. 351-374.
- Niosi, Jorge y Majlinda Zhegu (2005). "Aerospace Clusters: Local or Global Knowledge Spillovers?", *Industry & Innovation*, vol. 12, núm. 1, pp. 5-29.
- Office of Aerospace and Automotive Industries International Trade Administration (2007). *Analysis of the U.S. Aerospace Industry*, International Trade Administration, U.S. Department of Commerce.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2006). *Manual de Oslo*, España. Disponible en <[http://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/detiec/concurso/Manual\\_de\\_Oslo.pdf](http://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/detiec/concurso/Manual_de_Oslo.pdf)>.
- Schumpeter, Joseph (1989). *Essays on Entrepreneurs, Innovations, Business Cycles and the Evolution of Capitalism*, Richard V. Clemence (ed.), New Brunswick, Nueva Jersey, Transaction, pp. 253-231.
- Secretaría de Economía (SE) (2012). *Industria Aeronáutica en México*. Disponible en <[www.economia.gob.mx/files/Monografia\\_Industria\\_Aeronautica.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Industria_Aeronautica.pdf)&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=mx>.
- Singhry, Hassan Barau, Azmawani Abd Rahman y Ng Siew Imm (2016). "Effect of Advanced Manufacturing Technology, Concurrent Engineering of Product Design, and Supply Chain Performance of Manufacturing Companies", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 86, núm. 1, pp. 663-669.

## VII. Convergencia tecnológica en las maquiladoras de México: un caso paradigmático

Jorge Carrillo,\* Ismael Plascencia\*\*

### Introducción

Este capítulo aborda, a través de un estudio de caso, el concepto de “convergencia” como un nuevo paradigma basado en la convergencia de conocimiento y tecnologías que diluye los límites entre industrias y sectores, contribuyendo así a la resolución de desafíos complejos de producción, creando nuevos nichos de especialización y diversificación, generando con ello nuevas formas de gestión y comercialización, intensificado por el avance de la globalización (Casalet, 2015).

A pesar de la evolución de las maquiladoras de exportación en México a lo largo de más de cuarenta años y del escalamiento observado a través de la incorporación de nuevas tecnologías y de lo que hoy se denomina como la economía del conocimiento, el debate sobre la “maquiladora” continúa entre aquellos que, por un lado, consideran que estas son empresas extranjeras que ocupan mano de obra barata, mal pagada y poco dejan al país, y aquellos que analizamos la evolución de la industria y que consideramos que existe un proceso de aprendizaje y un claro desarrollo de las capacidades humanas y organizacionales, no obstante que los salarios se mantienen relativamente bajos. En este trabajo trataremos de demostrar que gran parte de la evolución consiste precisamente en la convergencia tecnológica.

---

\* Doctor en Sociología por El Colegio de México. Profesor investigador de El Colegio de la Frontera del Norte.

\*\* Doctor en Economía por la Universidad Autónoma de Baja California. Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Baja California.

Desde hace más de cuatro décadas la maquiladora establecida en México ha sido considerada como un modelo industrial debido a tres aspectos: *a*) la generación de divisas por medio del valor agregado producido en este país, *b*) la creación de empleo intensivo en mano de obra principalmente de baja calificación, y *c*) la importación de materias primas y componentes para después de su ensamble o manufactura exportarlos principalmente a los Estados Unidos de América. Este modelo es dirigido principalmente por grandes y pequeñas empresas multinacionales —ya sea productoras o compradoras de acuerdo a la clasificación de Gereffi y Korzeniewicz (1994)—, y mantiene escasa vinculación no solo con el aparato productivo nacional, sino con el consumo doméstico. Basándose en estas características se ha establecido un estereotipo de la maquiladora, el cual consiste en considerarlas a todas ellas como empresas intensivas en trabajo no calificado y mal pagado, tecnológicamente pobres y desvinculadas de la economía mexicana. Sin embargo, este estereotipo ha causado una gran confusión que persiste hasta nuestros días. Al concebir a la maquila como “modelo industrial”, caracterizado por los atributos anteriormente descritos, se está refiriendo a un nivel de generalidad y abstracción y no a la imputación del modelo a cada establecimiento, empresa, firma o región. Es otras palabras, lo que pretende un modelo es precisamente destacar sus rasgos comunes en un cierto nivel de generalidad para que, a partir de la abstracción de sus diferencias internas, contrastarlos con otros modelos o formas de acumulación o de crecimiento industrial.

La evolución de la maquiladora puede ser comprendida mediante el escalamiento industrial (Gereffi, 1999; Giuliani *et al.*, 2005) o *industrial upgrading*, que está íntimamente asociado con el incremento de valor mediante los procesos de innovación a partir de entradas en nichos de productos con mayor valor agregado (por ejemplo, de televisiones con cinescopio a televisiones digitales), entrada en nuevos sectores (de un producto como una televisión, a múltiples productos como monitores, antenas parabólicas, receptores de señales satelitales, etc.), o tomando nuevas funciones productivas o de servicio (del ensamble al paquete completo en la industria de la ropa, o del ensamble al diseño sincronizado con la manufactura en la industria de autopartes, por ejemplo). Adicionalmente, el escalamiento no es solo crear un nuevo producto (como el caso del *flat panel display*), sino implica también la

trayectoria evolutiva de mejoramiento de procesos y productos que son nuevos para la firma, lo cual les permite competir en el mercado internacional (Giuliani *et al.*, 2005). Las maquiladoras, en este sentido, han presentado procesos de aprendizaje tecnológico tanto en sectores tradicionales de manufactura como el vestido, los muebles y los zapatos, como en sectores con productos más complejos como las autopartes, la electrónica, las aeropartes y los productos médicos.

La maquiladora inició un proceso de cambio tecnológico desde mediados de los años ochenta del siglo pasado basado en la adaptación de procesos de automatización y nuevas formas de organización. Palomares y Mertens (1989) lo conceptualizaron como una transformación organizacional y laboral denominada reestructuración. Carrillo (1994) mostró la implementación de prácticas derivadas de los principios del justo a tiempo y el control total de la calidad. Este proceso evidenció que no todas las plantas se transformaban de manera similar, lo cual dio por resultado la existencia de plantas maquiladoras de distinto nivel: “viejas y nuevas” (Gereffi, 1991), “tradicionales, manufactureras y posfordistas” (Wilson, 1992). Otros autores encontraron cambios tecnológicos relevantes que permitieron hablar de una nueva maquila (Buitelaar *et al.*, 1999; Domínguez y Brown, 1989). Al inicio de los años noventa se encontró que cerca de 20% de las maquilas en sectores dinámicos contaba con alta tecnología, complejidad organizacional y personal con alta calificación, lo que determinó que posteriormente se denominaran empresas de segunda generación (Carrillo y Ramírez, 1990). Posteriormente se encontró nueva evidencia del proceso de escalamiento industrial en la electrónica (Contreras, 2000; Lara, 2000; Hualde, 2001; Carrillo y Hualde, 2002), las autopartes (Carrillo *et al.*, 2001; Lara *et al.*, 2005), el vestido (Gereffi y Bair, 2001), y en sus proveedores (Lara *et al.*, 2005; Dutrénit *et al.*, 2006). Se resaltaron las trayectorias de aprendizaje no solo de las grandes firmas, sino de los individuos, y de particulares grupos ocupacionales (Contreras, 2000). Un estudio en 2002 buscó cuantificar las generaciones de empresas maquiladoras y concluyó que 27% de los establecimientos de la muestra realizaban actividades de I+D, 55% estaban enfocadas fundamentalmente en procesos de manufactura organizados por medio de las mejores prácticas organizacionales, y 18% seguían sustentando su competitividad en actividades de ensamble con trabajo no calificado

(Carrillo y Gomis, 2005).<sup>1</sup> Un estudio más reciente (2008) basado en una encuesta a nivel nacional con empresas multinacionales encontró que 24% de las firmas realizaban procesos de investigación, desarrollo y diseño (Carrillo, 2015). Es decir, alrededor de una cuarta parte de las empresas multinacionales (prácticamente todas las maquiladoras lo son) en México son innovadoras.<sup>2</sup>

De manera muy resumida y esquematizada hemos señalado previamente que la evolución de las distintas generaciones puede ser esquematizada de la siguiente manera: trabajo manual → trabajo racional → trabajo creativo → trabajo inmaterial de coordinación. El primer gran salto tecnológico, organizacional y laboral fue pasar del ensamble a la manufactura, y el segundo, al diseño y la investigación. El nuevo movimiento es a la concentración de múltiples actividades con eje en las funciones de coordinación intra e interempresa (Carrillo y Lara, 2005). En otras palabras, la creación de minirrédlicas de casas matrices (no de subsidiarias) de países industrialmente avanzados hacia otros de menor desarrollo. Precisamente este proceso de coordinación nos permitirá comprender el caso de convergencia tecnológica en una empresa maquiladora, que es el foco central de este capítulo.

Antes de describir el caso de la empresa seleccionada es importante destacar que la fuente del *upgrading* en las maquiladoras en México ha estado asociada precisamente con la introducción de la convergencia tecnológica, como fue mencionado previamente. Veamos cuatro etapas de este proceso:

- a) La introducción de la microelectrónica en los procesos de producción cambió radicalmente todas las fases de soldadura en la fabricación de los televisores, por ejemplo, al introducir las máquinas de inserción automática y las tarjetas de circuitos impresos (Kenney, 2004). En otras palabras, la microelectrónica transformó radicalmente las capacidades de los televisores y su interconectividad; al

---

<sup>1</sup> Domínguez y Brown (2004) analizan censos industriales a nivel nacional y encuentran una estructura semejante para la manufactura en México.

<sup>2</sup> Si bien este porcentaje es elevado, al verlo en su evolución histórica, llama la atención que todavía un gran número de empresas no sean innovadoras, o no lo suficiente, eso es el reflejo del enorme reto por delante.

igual que la función de los cables de arnés en la industria automotriz al convertirlos tanto en el cerebro como en el flujo de información de los autos (Carrillo e Hinojosa, 2001). Asimismo, la microelectrónica permitió adoptar medidas de medición y seguimiento en tiempo real para conectar demanda y producción (por ejemplo, *flat panel displays*, donde se despliegan múltiples indicadores, los códigos de barras y todo el proceso de logística) (Brito, 2014). Es decir, una primera etapa de la convergencia tecnológica permitió que la microelectrónica inundara los procesos productivos en muchas maquiladoras y que se desarrollaran trayectorias evolutivas diferentes (Alonso y Carrillo, 1996).

- b) La introducción de las mejores prácticas organizacionales, creadas en la industria de alimentos en los Estados Unidos de América, y luego llevada a las fábricas automotriz en Japón, significó una profunda transformación del proceso de trabajo, particularmente en el uso de la mano de obra. El paradigma de la producción fordista fue sustituido a través de la adopción del sistema de gerencia y producción de Toyota, conocido globalmente como *lean production*. En el caso de las maquiladoras las mejores prácticas se han difundido ampliamente (Carrillo y Zarate, 2009). Este sistema aparentemente organizacional incluye también la microelectrónica en sus procesos (los sistemas *andon* y *kanban*, y hacer autónomas las maquinaria y las herramientas, son claros ejemplos de ello). La convergencia de tecnologías *soft*, de un sector (alimentos) hacia otro (automotriz), y de este hacia la enorme mayoría de las industrias de manufactura y servicios, ha implicado no solo un proceso dinámico de aprendizaje sino una práctica híbrida acorde a los contextos diferenciados donde se aplica (Abo, 2007).
- c) La introducción de nuevas estrategias de negocio. Diversos modelos han sido creados en la disciplina del *management* y han logrado difundirse en otros campos, como en las actividades de manufactura. Un modelo muy exitoso ha sido el *outsourcing* (Berger, 2006). Bien sea que se practique internamente dentro de las instalaciones de la empresa (*in house outsourcing*) o fuera de la misma (*outsourcing, offshore outsourcing*), ha tenido una enorme aceptación tanto en empresas de manufactura como de servicios (Gereffi, 2006). Es difícil encontrar actualmente empresas donde el conjunto de

sus empleados pertenezca solo a la misma empresa. Con esto no nos referimos a seguridad, alimentos, transporte para empleados y mantenimiento de la planta, sino a procesos centrales como la logística, la implementación de la manufactura esbelta, incluso la propia producción (ya sea realizando actividades idénticas o complementarias dentro de la empresa). En todos los casos siempre contar con empleadores diferentes y, consecuentemente, condiciones de trabajo distintas.

- d) La integración de servicios a la manufactura o lo que describe Mónica Casalet como “manufactura avanzada” en el capítulo “Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial” de esta misma obra. Si bien hay diferencias sustantivas entre la manufactura y los servicios, hay una tendencia creciente a la convergencia de ambos. En términos generales, los servicios siempre han estado vinculados con la manufactura. En un principio eran básicamente servicios asociados a lo que hoy se conoce como *back office* (de contabilidad, fiscales, de nómina, etc.), pero conforme inicia el proceso de internacionalización de las firmas se van introduciendo muy distintos tipos de servicios. Ahora existe una alta mezcla entre ambos sectores. Castellacci (2008) llama la atención sobre la convergencia entre la manufactura y los servicios en el caso de Europa, cuando se analizan los procesos de innovación, y desarrolla una nueva taxonomía que logra combinarlo en un mismo marco de referencia. El autor encuentra una alta integración entre los patrones de innovación en estos sectores y enfatiza la creciente importancia entre los vínculos verticales e intersectoriales asociados al conocimiento. En algunas multinacionales establecidas en México ambas industrias convergen cada vez más, hasta el grado de empezar a diluirse la tradicional división entre manufactura y servicios. Empresas productoras, pero que su actividad central y rentable está en los servicios *after market* o en las ventas con clientes particulares, o empresas de servicios que tienen alguna unidad de producción (como empresas de telecomunicaciones o de belleza), complejizan las clasificaciones convencionales. En algunas maquiladoras se pueden observar al interior de las plantas servicios de *call centers*, impresoras 3D, departamentos de I+D, etc. (todos los aspectos de manufactura avanzada).

Por tanto, microelectrónica, las mejores prácticas organizacionales, los modelos de negocio y, más recientemente, la interconectividad son las fuerzas de la convergencia. Veamos el caso de una empresa maquiladora exitosa y que su característica central es precisamente la convergencia.

### Un caso paradigmático: Delphi-Tijuana

La compañía Delphi es un proveedor líder mundial de la electrónica y las tecnologías de automoción, vehículos comerciales y otros segmentos del mercado. Entre sus operaciones más importantes están sus centros técnicos, las plantas de fabricación y los centros de atención al cliente en más de treinta países. Delphi ofrece innovaciones para hacer productos más inteligentes y más seguros, así como más potentes y eficientes (Delphi, 2014). Desde hace más de cien años la empresa se ha centrado en proporcionar un mayor rendimiento del producto y conducir la tecnología del mañana. Cuenta con más de 100 000 empleados en 270 localidades, y 24 centros de ingeniería en 32 países. La empresa destaca sus principales factores (Delphi, 2014):

- Como socio de 25 de los mayores fabricantes de vehículos a nivel mundial es la empresa que hace las partes de los autos desde su concepción.
- Desde hace más de cien años ha traído innovaciones al mundo real.
- Altos estándares que la diferencian de muchas otras empresas.

### Antecedentes de la empresa y etapas de cómo evolucionaron los actores

Delphi Automotive Systems Corporation es el fabricante más grande y más diversificado del mundo de componentes para el automóvil. Se separó a mediados de la década de 1990 del mayor fabricante mundial de automóviles en aquel entonces, General Motors (GM), que todavía representaba 70% de su negocio en el año 2000, aunque cuenta con todos los fabricantes mundiales de vehículos ligeros entre sus clientes. De la fuerza laboral de la compañía 60% se encuentra fuera de los Estados

Unidos de América (Melgoza, 2007, 2012), por lo que se trata de una empresa altamente internacionalizada.

La firma Delphi Automotive tiene como su antecedente más temprano a la empresa Bell Company, fundada en Bristol, Connecticut, en 1888, para la fabricación de los primeros dispositivos de timbre de campana. El talento y la visión de la compañía para la innovación hicieron que pronto se extendiera al transporte, con la introducción en 1897 del freno de bicicleta (Delphi, 2014). Décadas después fue absorbida por General Motors.

En 1991 General Motors organizó sus muchas operaciones localizadas en distintas partes —aproximadamente doscientas plantas— en su Grupo de Componentes de Automoción (ACG). Las ventas llegaron a 19.3 mil millones de dólares en 1991, pero se registraron pérdidas significativas. Funcionarios de GM decidieron vender negocios no estratégicos, proceso que tardaría tres años en completarse. Las operaciones que se vendieron fueron los productores de bombas de vacío, tapas de radiador, pequeños motores y actuadores, motores de arranque, generadores, cables, ejes traseros y los imanes; en conjunto, estos representaron alrededor de 3.5 mil millones dólares en ventas. Iluminación, chasis, sistemas ambientales, baterías, gestión del motor y las operaciones de asientos se mantuvieron (Delphi, 2014). Posteriormente se convirtió en un *spin-off* de GM.

Delphi comenzó a implementar el sistema de gerencia y producción japonés denominado manufactura esbelta (*lean manufacturing*) en 1996. La compañía también comenzó a transformarse en un proveedor global. Asia y la Cuenca del Pacífico fueron vistas como una región crítica para el crecimiento planificado de la empresa, China actualmente es el principal productor de autos del mundo. Delphi tiene varias alianzas estratégicas de gran envergadura en la región asiática. A finales de 1997 esta firma había invertido trescientos millones de dólares en fábricas en la República Popular de China, donde GM tiene una importante empresa fabricante de autos (al igual que Volkswagen y prácticamente todas las ensambladoras finales). Tecnologías de la compañía, como las bolsas de aire, tienen una demanda creciente. Casi 85% de las ventas de Delphi en Asia provenían de otros clientes aparte de GM. Delphi se vería gravemente afectada por las devaluaciones monetarias como resultado de la crisis financiera asiática de 1998, pero mantuvieron sus niveles de inver-

sión en la región. Delphi cuenta también con cuatro plantas de propiedad total en la India (Delphi, 2014).

En Europa, Delphi logró ganar una gran parte de los negocios —47%— de clientes distintos de GM y sus filiales. La unidad tenía 38 000 empleados en 63 plantas. Delco Electronics Corporation fue trasladada a Delphi a finales de 1997 como parte de una transacción en la que GM escindió su negocio de electrónica de defensa, Hughes Electronics Corporation, que había operado Delco en los últimos once años (Delphi, 2014).

Delphi es una firma productora y desarrolladora de sistemas y componentes automotrices que actualmente se coloca como la tercera a nivel mundial, cuenta con 46 plantas productoras en trece estados de la República mexicana, tres centros de desarrollo tecnológico, siendo el de Ciudad Juárez el más importante, y genera más de 52 000 empleos directos.

¿Por qué es un caso ilustrativo de convergencia tecnológica?<sup>3</sup>

En entrevista, el director general de Delphi-Tijuana, Steve Willing, nos mencionó que no está en el negocio de la innovación incremental, sino que está en el negocio de la innovación disruptiva asociada a la convergencia tecnológica, por ello el modelo que aplica esta planta es de incubadora y no de centro de investigación y desarrollo; es decir, más hacia el lado del emprendedurismo (*entrepeneurial*). Si bien las más de cincuenta plantas que operan de Delphi en México se dedican cien por ciento al sector automotriz, *esta planta desde su origen está dedicada más o menos 50% para la industria automotriz y 50% para la industria aeroespacial*, lo cual la hace única dentro de la firma en México, y muy diferente a la mayoría de las empresas altamente especializadas en un producto o familia de productos de una misma industria. Pero Delphi-Tijuana, además, está cambiando su modelo, como se verá más adelante.

---

<sup>3</sup> La información sobre Delphi-Tijuana proviene de un estudio sobre los ecosistemas de innovación en el norte de México, particularmente del reporte de investigación de Plascencia *et al.* (2012). Las entrevistas en la empresa fueron realizadas por Jorge Carrillo e Ismael Plascencia.

La hipótesis que el gerente maneja es la siguiente: si se empiezan negocios tecnológicos (*start-ups*) en Silicon Valley y después se trasladan operaciones a Tijuana, ¿por qué no empezar en Tijuana aprovechando el recurso existente? Para él (al igual que para otros gerentes, y especialmente para los funcionarios públicos y representantes de los organismos empresariales) el modelo maquiladora ha quedado obsoleto. De hecho, en palabras del entrevistado, “el modelo maquilador le ha hecho daño a Tijuana en la creación de capacidades humanas y técnicas, por ello es difícil encontrar personas mayores de 35 años con capacidades gerenciales o habilidades para actividades de ingeniería y diseño”. En efecto hemos podido constatar en estudios previos que la mayoría de los ingenieros están dedicados a la supervisión de los procesos con énfasis en el cuidado de la calidad.

Lo anterior no significa que no se pueda encontrar personas inteligentes y con talento, el problema es que hay escasez de personas con experiencia e iniciativa para resolver problemas complejos, como es el desarrollo de productos. Actualmente la empresa Delphi-Tijuana lleva más de cuatro años trabajando en formación de talentos, en donde toman ingenieros con diferentes perfiles y los enfocan en ingeniería de diseño.

El modelo de incubadora que desarrolla Delphi-Tijuana (que es una maquiladora) tiene sus antecedentes en Filipinas, donde el gerente lo implementó y lo está replicando ahora en México. Ante la pregunta ¿cómo convencieron a la matriz de participar con este modelo?, el gerente de Delphi señala que la empresa en México, al igual que en otros lugares, estaba perdiendo mucho dinero con sus operaciones (recordemos la bancarrota de GM), por ello su casa matriz le dio un mandato: “Haz lo que tengas que hacer para revertir esta situación”. Por tanto, se orientó a cambiar la estrategia por completo, y en lugar de tener una estructura de negocio, salieron a ver qué necesitaba el mercado para adaptar su estructura de negocios. “Muchas empresas grandes cometen el error de invertir y desarrollar infraestructura primero y se olvidan del desarrollo de talento”.

Las compañías con nueva mentalidad deben de tener una cultura de aprendizaje para sobrevivir en el mercado, nos mencionó el gerente de Delphi. Los *start-ups* son compañías intelectuales. Se quiere incidir en el desarrollo de conductas a través de una revisión de la literatura. Por ello escogieron quince títulos de libros que refuerzan el conocimiento e influyen en estas conductas y los regalan a todos sus empleados e incluso a

proveedores. Actualmente la empresa trabaja en cinco giros: automotriz, transporte, aeroespacial, dispositivos médicos y sector militar. El director de Tijuana maneja tres plantas, una en Irvine, California, cuyo *core business* es lo militar, otra en Carolina del Sur, con la producción de dispositivos médicos como actividad primordial, y la de Tijuana dedicada tanto al sector automotriz como al aeroespacial, incluyendo otras posibilidades de transporte, lo cual implica muchas diversas actividades.

La vasta mayoría de las actividades que se realizan en Tijuana la convierte en una planta muy rentable. Mientras que los ingresos de Delphi en su planta de Carolina del Sur son de seis millones de dólares anuales, los ingresos en Tijuana alcanzan los ochenta millones de dólares anuales. Las tres plantas conforman una división llamada Sistemas de Conexión Delphi. La subdivisión es conocida como MAAC: Militar, Automotriz, Aeroespacial y Comercial.

La planta manufacturera de Tijuana está muy diversificada, dominando el esquema de producción de *mass customization*; todo lo que no concuerda con el resto de las divisiones en términos de producción se envía a Tijuana. Por ello, para la empresa es muy importante buscar puntos en común. El reto, de acuerdo con su director, es enorme, mientras que el corporativo Delphi busca el desarrollo de economías de escala (*scale economies*), la planta en Tijuana desarrolla economías de alcance (*scope economies*). La empresa ha detectado cuatro megatendencias en los mercados:

- ♦ La primera es que la economía estadounidense se mueve rápidamente del sector industrial o manufacturero al sector servicios, y esa es una mala noticia para el sector de conectores y cables. Por ello Delphi requiere desarrollar economías de alcance y preguntarse: ¿cómo podemos movernos hacia los servicios? Por nuestra parte podemos observar que esta megatendencia es clara en el sector automotriz: hay pronósticos especializados que consideran que en un futuro no muy lejano más que la gente tener su propio auto, las personas contratarán servicios de movilidad. Las empresas Car2go, Autolift, Uber, Tesla, Google car, por ejemplo, son nuevos modelos de negocios que apuntan precisamente a la gran conectividad entre productores y empresas de servicios. Y las empresas productoras como vw, GM, Toyota y muchas otras quieren estar también en este nuevo

juego, por lo cual están realizando inversiones masivas al respecto. El paradigma que analiza la manufactura y los servicios de manera independiente, como si fueran actividades distintas, está siendo rápidamente obsoleto.

- ✦ La segunda megatendencia es el *outsourcing*, no solo de productos, sino de servicios, incluyendo servicios intensivos en conocimiento como diseño. Como un ejemplo que podemos señalar de esta megatendencia está el caso del Tecnocentro de la firma Renault cerca de París, ya que está cobrando mucha fuerza la contratación de terceras empresas para el diseño de sus autos y componentes (Pardi, 2016).
- ✦ La tercera megatendencia es pasar de la producción en masa a la producción hecha a la medida; es decir, se pasa de una baja mezcla de productos de alto volumen a una alta mezcla y bajo volumen (*from mass production to mass customization*). Y esta mutación la podemos observar nuevamente en la industria automotriz. Se están dando pasos agigantados para acercarse en un futuro mediano a la producción de bienes únicos. Nuevamente empresas estadounidenses, europeas e incluso mexicanas están trabajando para que los propios clientes puedan diseñar y comprar sus autos a la medida. La industria 4.0 alemana apunta precisamente no solo a la conectividad mediante el internet de las cosas, sino a la producción única, es decir, de un solo y único producto (Montalvo, 2015). Como lo está haciendo la industria médica al ser capaz mediante impresoras 3D de producir por primera vez corazones a la medida. Otro ejemplo es la investigación que desarrolla la empresa Huawei en México, la cual está centrada totalmente en lo que el cliente requiera.
- ✦ Finalmente, la cuarta megatendencia es el rebote geográfico en donde el costo de producción de China ya rebasó el costo de producción de México y mucha de la actividad que en 2001 se había desplazado a China está volviendo a México. Esta tendencia, conocida como *reshoring*, podemos ver que está siendo afectada no solo por la elevación de los costos en China y el inicio de justas protestas laborales, sino por las propias políticas de los países desarrollados que desean que regresen las actividades industriales a sus países, especialmente las actividades de mayor valor agregado. Tal es el caso de los Estados Unidos de América con la manufactura avanzada que lanzó el presidente Obama, y la iniciativa de la industria 4.0 alemana, la

cual también está desarrollándose en los principales países de la comunidad europea (Montalvo, 2015; Blöcker y Krzywdzinski, 2015).

Por ello, y tomando en cuenta las cuatro anteriores megatendencias, Delphi-Tijuana busca utilizar varias plataformas capaces de desarrollar varios proyectos conjugando los recursos disponibles. “El mundo no necesita otra empresa de conectores, por ello los negocios se están consolidando. Hay menos empresas de conectores actualmente de las que había hace cuatro años y habrá menos en un futuro”.

Por ejemplo, una de las tecnologías que utiliza la empresa para ser competitivos en este proceso de convergencia tecnológica es el *over-molding*. Mediante esta se ofrece algo que la competencia no hace. Delphi reconoce que hay tres tipos de competidores para uno de sus principales productos. Se reconoce que hay un grupo de empresas que hacen conectores, otro grupo de empresas se dedica a producir cables o arneses, y un tercer grupo junta los conectores con los cables o arneses. Lo que ofrece Delphi-Tijuana a través de la tecnología *over-molding* es una plataforma en donde los conectores ya están pegados a los cables desde que salen del proceso productivo, lo que ahorra tiempo y dinero; es decir, se conjugan las capacidades de producción de conectores con las capacidades de ensamblaje de cables. Esto permite un portafolio diversificado de *molding technologies*.

De lo anterior se han derivado dos patentes desarrolladas por un equipo de mexicanos y estadounidenses. De acuerdo con el director de Delphi-Tijuana este es el futuro, de ahí la necesidad para el desarrollo de las actividades de ingeniería y diseño. Por ello, se cuenta con estudiantes y técnicos que se van desarrollando en la empresa.

Respecto al modelo de negocios, se aplica un esquema sumamente novedoso por tratarse de una planta maquiladora. Este esquema consiste en pasar a lo que se conoce como *long tail*, esto es, enfocarse en un gran número de productos que se venden en volúmenes bajos, pero con altos márgenes de utilidad.

## Fuentes del éxito

Durante más de cien años la cultura de la innovación y el espíritu de colaboración en Delphi han dado lugar a soluciones innovadoras que

ayudaron a la industria automotriz a moverse hacia el futuro con respuestas a los problemas del mundo real. Delphi sigue construyendo sobre un legado de innovación en los mercados nuevos y tradicionales. Los más de 100 000 empleados de Delphi a nivel mundial trabajan de manera conjunta para enfrentar las grandes tendencias actuales, aportando innovaciones a la vida que ayudan a que el mundo sea más seguro, más verde y más conectado, mientras se esfuerza por lograr su objetivo final: ser reconocida por sus clientes como el mejor proveedor.

De la misma forma que Delphi opera a nivel mundial lo hace en su planta de Tijuana, es decir, la sobrevivencia en un mercado consolidado como lo es el de conectores, requiere que las empresas ofrezcan algo diferente a los clientes. Por ello, Delphi Tijuana cuenta con un modelo de negocios innovador que es adaptable a la situación de constante cambio mundial y que se basa en la diversificación de sus innovaciones y de sus clientes. La empresa se encuentra posicionada en Norteamérica, Asia y Europa. En cuanto a la diversificación de sus clientes, se espera que pronto ninguno represente más de 15% de las ventas totales.

Finalmente, es importante reconocer que la empresa en Tijuana también destaca por el bajo impacto ambiental que ocasiona, esto derivado de las acciones que se han tomado para disminuir las prácticas que contaminan; en las plantas se han adoptado normas oficiales y legales que regulan la emisión de contaminantes al medio ambiente, además de que se buscan insumos y componentes que sean amigables con el entorno. Esta estrategia que surge de la gran tendencia mundial de cuidado medioambiental ha coadyuvado en la salud financiera de la empresa.

## Conclusión

Para resumir, la planta de Delphi en Tijuana es una empresa en donde convergen procesos de manufactura avanzada que tienen que ver con actividades de ingeniería y diseño, y al mismo tiempo con la atención de distintos sectores económicos, como automotriz y aeroespacial, entre otros, bajo un mismo techo. A pesar de que los “conectores” parecen simples y estandarizados, Delphi Tijuana es una empresa que se encuentra a la vanguardia tecnológica, desde la innovación en sus productos mediante la ingeniería y el diseño que queda registrada en patentes

internacionales hasta la incubación de los mismos para convertirse en un negocio rentable. A través de alianzas estratégicas con pequeños negocios se fortalecen como unidad para ser más competitivos en el mercado.

Se trata de una compañía consolidada por tener una estrategia basada en la convergencia tecnológica y la colaboración con pequeñas empresas. Debido a que solo es un proveedor con alta discreción en las estrategias que implementa logra minimizar los costos de los productos que elabora. Su modelo se basa en las capacidades de ingenieros y diseñadores mexicanos que, a pesar de obtener un sueldo menor en relación con otros países desarrollados, este es digno en comparación con los salarios locales e incluso con los que se pagan en el sector de la manufactura en México.

Una característica muy importante a destacar de Delphi es su papel de empresa incubadora donde logran converger nuevos proyectos, productos y servicios, incorporando siempre la innovación, lo que demuestra que cuenta con una ventaja competitiva significativa por contar también con una estrategia de mercado eficiente.

Delphi Tijuana es un impulsor e inversor en nuevos profesionistas; gracias a la réplica adaptada del modelo filipino que se centra en invertir en educación como factor principal de desarrollo tecnológico, la empresa ha generado más profesionistas, que de acuerdo con su director están capacitados, son competitivos y muy eficientes. Prácticamente los nuevos ingenieros cuentan con un nivel mayor de preparación debido a que aprendieron de manera empírica, ya que por lo general fueron preparados profesionalmente como técnicos. Estos nuevos ingenieros están ahora encargados de enseñar a las nuevas generaciones de técnicos y *fresh* ingenieros y así sucesivamente pretende hacerlo la empresa. De esta manera, la firma considera que la incorporación de nuevos empleados con capacidades técnicas e ingenieriles sigue un proceso de integración que mejora la actitud y aptitud de la gente.

Delphi en Tijuana destina aproximadamente más de un millón de dólares en inversión en maquinaria y materiales para el trabajo que realizan los profesionistas con el objetivo de adentrarse en el desarrollo de la tecnología en el ramo automotriz, aeroespacial, médico y electrónico, entre otros. Esta compañía, a través de la planta en Tijuana, ha sido reconocida como una unidad muy importante en ensambladores y conectores

electrónicos (no solo automotrices), lo que le ha permitido demostrar que es una empresa con iniciativa en proyectos sostenibles a largo plazo. Su presencia y rol en la innovación la llevó a ser invitada en el panel de la industria automotriz en el Foro Tijuana Innovadora 2012.

Delphi ha logrado aprovechar en Baja California el talento local y potenciarlo a nivel global, la empresa selecciona estudiantes dos años antes de que finalicen su carrera para capacitarlos en las carreras técnicas y en los sistemas que se utilizan. Al finalizar la etapa de capacitación y una vez terminada la carrera del estudiante se vuelve a realizar un filtro y se quedan con los mejores. Derivado de esta actividad de detección de talento la empresa ha logrado patentar componentes electrónicos en México para diversos sectores con ingeniería local, y estos son vendidos a los clientes en todo el mundo.

Las actividades que se realizan en Irvine, donde se encuentra la matriz, son desarrollo de producto, servicios contables y financieros, y atención al cliente. Sin embargo, existe un gran potencial para que en México se puedan realizar estas actividades. Esta es la siguiente etapa que la empresa busca consolidar en un futuro cercano. Debido a una larga tradición de maquiladoras en la zona, muy particularmente electrónicas, aeroespaciales y de productos médicos desde el inicio del milenio, se ha formado una masa crítica. Talento y capacidades a partir de ingeniería básica son características fáciles de encontrar, el reto es brindarles a los profesionistas la maquinaria, herramental y prácticas organizacionales que les permitan ser innovadores y operar en negocios distintos. Por tanto, el éxito de la planta Delphi en Tijuana radica en gran parte en la libertad que tiene para probar e implementar nuevas tecnologías y nuevos modelos de negocios, gracias a la convergencia tecnológica en los sectores en los que participa.

Por último, como hemos visto a lo largo de este trabajo, la industria maquiladora ha evolucionado, pero no de manera homogénea. Alrededor de una cuarta parte se puede considerar innovadora, la mitad de las empresas tienen capacidades medias y la otra cuarta parte no es innovadora. Pero todas ellas han estado expuestas a diversas mutaciones derivadas de la introducción de la microelectrónica, las mejores prácticas organizacionales, el *outsourcing* y los servicios. Pero este proceso se presenta con diferentes niveles de aplicación y en mezclas diversas. Los ejemplos de convergencia son disímiles, pero el caso de la empresa Delphi en

Tijuana muestra cómo industrias distintas como la automotriz y la aeroespacial pueden converger bajo un mismo techo y con sistemas innovadores de gestión. Lo que habrá que seguir estudiando es si este tipo de empresas donde convergen distintas actividades y donde los servicios son fundamentales es una tendencia que se difunde.

El aspecto más importante a destacar en términos de convergencia es la autonomía que tiene la planta de los *headquarters* para desarrollar un modelo de negocios propio. Esto es un cambio de paradigma en la forma en la que originalmente se concebía a la industria maquiladora como un centro de costos que solo sigue directrices de la planta matriz. La convergencia tecnológica se da a través de la diversificación de sectores manufactureros, clientes y actividades de mayor valor agregado que destacan en procesos de “manufactura avanzada”, como generación de propiedad intelectual y patentes, actividades de ingeniería y diseño y logística, así como una evolución en la búsqueda de un modelo de negocios propio.

## Referencias

- Abo, Tetsuo (ed.) (2007). *Japanese Hybrid Factories. A Comparison of Global Production Strategies*, Londres, Palgrave.
- Alonso, Jorge y Jorge Carrillo (1996). “Gobernación económica y cambio industrial en la frontera norte de México: Un análisis de trayectorias locales de aprendizaje”, *Revista Eure*, núm. 67, pp. 45-64.
- Berger, Susan (2006). *How to compete?*, Nueva York, MIT.
- Blöcker, Adje y Martin Krzywdzinski (2015). *Industry 4.0 The German Debate about Old and New Manufacturing Concepts in the Automotive Industry*, ponencia presentada en el 23rd Gerpisa International Colloquium, 10-12 de junio, París.
- Brito, Janette (2014). *Situación actual y prospectiva de la industria de televisores en Baja California*, tesis de doctorado, México, UNAM.
- Buitelaar, Rudolf M., Ramón Padilla y Ruth Urrutia (1999). “Industria maquiladora y cambio técnico”, *Revista de la CEPAL*, núm. 67, pp. 133-152.
- Carrillo Viveros, Jorge (2015). *Firmas multinacionales en México. Un estudio sobre la estructura organizacional, la innovación y las prácticas de empleo: resumen ejecutivo*, Tijuana (versión bilingüe).

- Carrillo, Jorge (1994). "La experiencia latinoamericana del justo a tiempo y el control total de la calidad", *Revista Latinoamericana de Estudios del Trabajo*, núm. 1, pp. 193-217.
- Carrillo, Jorge y Redi Gomis (2005). "Generaciones de maquiladoras: un primer acercamiento a su medición", *Frontera Norte*, vol. 17, núm. 33, enero-junio, pp. 25-51.
- Carrillo, Jorge y Raúl Hinojosa (2001). "Cableando el Norte de México: La evolución de la industria maquiladora de arneses", *Región y Sociedad*, núm. 21, pp. 79-116.
- Carrillo, Jorge y Alfredo Hualde (2002). "La maquiladora electrónica en Tijuana: hacia un clúster fronterizo", *Revista Mexicana de Sociología*, año LXIV, núm. 3, julio-septiembre, pp. 125-171.
- Carrillo, Jorge y Arturo Lara (2005). "Mexican Maquiladoras: New Capabilities Coordination and the Emergence of New Generation of Companies", *Innovation and Economic Development*, vol. 7, núm. 2/3, abril-agosto, pp. 256-273.
- Carrillo, Jorge, Martha Miker y Julio Morales (2001). *Empresarios y redes locales: Autopartes y confección en el norte de México*, México, Plaza y Valdés/UACJ.
- Carrillo, Jorge y Miguel Ángel Ramírez (1990). "Maquiladoras en la frontera norte: Opinión sobre los sindicatos", *Frontera Norte*, núm. 4, pp. 121-152.
- Carrillo, Jorge y Robert Zárate (2009). "The Evolution of Maquiladora Best Practices: 1965 to 2008", *Journal of Business Ethics*, núm. 2, pp. 335-350.
- Casalet Ravenna, Mónica (2015). "El mito de Sísifo. Avances y nuevos desafíos en la apropiación de los paradigmas tecnológicos", en María Josefa Santos y Rodrigo Díaz Cruz (coords.), *Innovación tecnológica y procesos culturales*, México, FCE.
- Castellacci, Fulvio (2008). "Technological Paradigms, Regimes and Trajectories: Manufacturing and Service Industries in a New Taxonomy of Sectorial Patterns of Innovation", *Research Policy*, núm. 37, pp. 978-994.
- Contreras, Óscar (2000). *Empresas globales, actores locales: producción flexible y aprendizaje industrial en las maquiladoras*, México, El Colegio de México.
- Delphi (2014). "A Sustainable Future. Now", [en línea], *Corporate Social Responsibility Report*. Disponible en <<http://delphi.com/docs/default-source/responsibility-docs/2014-delphi-customer-social-responsibility-report.pdf>>, consultado el 15 de abril de 2014.
- Domínguez, Lilia y Flora Brown (2004). "Medición de las capacidades tecnológicas en la industria mexicana", *Revista de la CEPAL*, núm. 83, pp. 135-151.

- Domínguez, Lilia y Flora Brown (1989). "Nuevas tecnologías en la industria maquiladora de exportación", *Revista Comercio Exterior*, núm. 3, pp. 215-223.
- Dutrénit, Gabriela, Alexandre O. Vera-Cruz, Aryenis Arias, José Luis Sampedro y Alma Uriostegui (2006). *Acumulación de capacidades tecnológicas en subsidiarias de empresas globales en México. El caso de la industria maquiladora de exportación*, México, UAM/Porrúa.
- Garza, Enrique de la (ed.) (2005). *Modelos de exportación en la maquila de exportación en México*, México, Plaza y Valdés/UAM.
- Gereffi, Gary (2006). *The New Offshoring of Jobs in the Global Economy*, ponencia presentada en el Seminario Internacional Globalización, Conocimiento y Estrategias de Desarrollo, 15-17 de marzo, México, UNAM.
- Gereffi, Gary (1999). "International Trade and Industrial Upgrading in the Apparel Commodity Chain", *Journal of International Economics*, núm. 48, pp. 37-70.
- Gereffi, Gary (1991). "The 'Old' and 'New' Maquiladora Industries in Mexico: What Is Their Contribution to National Development and North American Integration?", *Nuestra Economía*, núm. 8, pp. 39-63.
- Gereffi, Gary y Jennifer Bair (2001). "Local Clusters in Global Chains: The Causes and Consequences of Export Dynamism in Torreón's Blue Jeans Industry", *World Development*, núm. 11, pp. 1885-1903.
- Gereffi, Gary y Miguel Korzeniewicz (eds.) (1994). *Commodity Chains and Global Capitalism*, Westport, Praeger.
- Giuliani, Elisa, Carlo Pietrobelli y Roberta Rabellotti (2005). "Upgrading in Global Value Chains: Lessons from Latin American Clusters", *World Development*, vol. 33, núm. 4, pp. 549-573.
- Hualde, Alfredo (2001). *Aprendizaje industrial en la frontera norte de México: La articulación entre el sistema educativo y el sistema productivo maquilador*, México, El Colegio de la Frontera Norte/Plaza y Valdés.
- Kenney, Martin (2004). "The Shifting Value Chain. The Television Industry in North America", en Martin Kenney y Richard Florida (eds.), *Locating Global Advantage. Industry Dynamics in the International Economy*, Stanford University Press.
- Lara, Arturo (2000). "Complejidad y desequilibrio tecnológico: Notas sobre la convergencia del sector automotriz y el sector electrónico", en José Flores y Federico Novelo (comps.), *Innovación industrial, desarrollo rural e integración internacional*, México, UAM, pp. 213-238.

- Lara, Arturo, Jaime Arellano y Alejandro García (2005). "Co-evolución tecnológica entre maquiladoras de autopartes y talleres de maquinado", *Comercio Exterior*, núm. 6, pp. 586-599.
- Melgoza, Ricardo (2012). *Aprendizaje organizacional y transferencia de tecnología en la industria maquiladora*, México, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Melgoza, Ricardo (2007). "El mercado de autopartes: El caso Delphi, una empresa global con enfoque local", ponencia presentada en el XXI Congreso Anual Aedem, 6-8 de junio, Madrid, Universidad Rey Juan Carlos.
- Montalvo, Carlos (2015). "Las multinacionales frente al *catching-up*, ¿qué podemos aprender? tecnologías y regulaciones inteligentes", ponencia presentada en la Conferencia Internacional Multinacionales frente al Desarrollo Tecnológico y el Empleo, 22-23 de octubre, Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte.
- Palomares, Laura y Leonard Mertens (1989). "Automatización programable y nuevos contenidos de trabajo. Experiencias de la industria electrónica, metalmecánica y petroquímica secundaria en México", *Problemas del Desarrollo*, núm. 76, pp. 111-132.
- Pardi, Tommaso (2016). *New Trends in Labor at the Technical Center at Renault-Paris* (información brindada en la Reunión de Trabajo del International Steering Committee), 8 de enero, París.
- Plascencia, Ismael, Jorge Carrillo, Saúl de los Santos y Daniel Villavicencio (2012). *Baja California. Ecosistema de Innovación*, proyecto del Conacyt "Plan Estratégico y Transversal de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Frontera Norte", Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte (reporte de investigación).
- Wilson, Patricia (1992). *Exports and Local Development. Mexico's New Maquiladoras*, Austin, University of Texas Press.

## VIII. Cooperación para la innovación: el papel de las instituciones en la industria aeroespacial en Montreal

*Christian Lévesque,\* Blandine Émilien,\*\* Lucie Morissette,\*\*\*  
Laurence Solar-Pelletier\*\*\*\**

### Introducción

Las plataformas digitales, las empresas virtuales, la robotización y la impresión 3D representan otras tantas innovaciones tecnológicas disruptivas asociadas con la cuarta revolución industrial. Si la imagen de un investigador instalado en su sótano o en el garage concibiendo nuevas tecnologías es seductora, está lejos de corresponder a la realidad. Incluso la mítica Apple se benefició bastante de las investigaciones realizadas por las universidades y agencias públicas y privadas para el desarrollo de sus productos (Mazzucato, 2013). La innovación tecnológica descansa mucho más en el trabajo colaborativo de una variedad de empresas y agencias públicas y privadas.

Este capítulo se interesa en las condiciones que favorecen la innovación abierta y colaborativa. Partiendo del caso del clúster de la industria aeroespacial en la región de Montreal, este trabajo destaca el papel de todas

---

\* Doctor en Relaciones Industriales por la Universidad Laval, Canadá. Profesor titular, Departamento de Gestión de Recursos Humanos, HEC Montreal, Canadá.

\*\* Doctora en Gestión por la Universidad de Leicester, Reino Unido. Investigadora posdoctoral, Departamento de Gestión de Recursos Humanos-HEC Montreal, Canadá.

\*\*\* Doctora en Relaciones Industriales por la Universidad de Montreal, Canadá. Profesora agregada, Departamento de Gestión de Recursos Humanos, HEC Montreal, Canadá.

\*\*\*\* Doctora en Gestión y Administración de Empresas por HEC Montreal, Canadá. Investigadora y coordinadora del grupo de investigación Gestion et Mondialisation de la Technologie (Gestión y Mundialización de la Tecnología), Escuela Politécnica de Montreal, Canadá.

las partes interesadas, las cuales con racionalidades y lógicas de acción a veces diferentes llegan, sin embargo, a encontrar espacios de colaboración que favorecen la innovación en el seno del clúster de Montreal. Dichas partes crean las condiciones para apoyar tanto la innovación tecnológica como la producción y la transferencia de conocimientos y establecen políticas y mecanismos que pretenden liberalizar los campos de especialidad y asegurar más convergencia, en especial mediante la intensificación del trabajo interdisciplinario. Los actores intentan hacer surgir campos disciplinarios y favorecer la convergencia interdisciplinaria de conocimientos y tecnología (véase el capítulo V de M. Casalet en este libro, pp. 127-151) para responder a problemas cada vez más complejos en los campos de la economía, la producción y la sociedad. Esta convergencia puede operarse por la gestión colaborativa establecida entre las instituciones universitarias y la industria para realizar trabajos de investigación y desarrollo (I+D). La puesta en común y la confrontación entre lógicas académicas e industriales favorecerían eventualmente el proceso de colaboración en I+D (Bjerregaard, 2010). La convergencia puede también concretarse al compartir y difundir las tecnologías entre varias industrias (convergencia intersectorial) antes más especializadas y segmentadas (Bierly y Chankrabarti, 1999; Broring, 2010).

A continuación se quiere contribuir a esta literatura identificando sobre todo los pilares institucionales que, al fortalecerse mutuamente, crean un ecosistema regional que favorece la convergencia interdisciplinaria de conocimientos y de colaboración abiertas en cuestión de I+D. El clúster de Montreal es un caso ejemplar para identificar las condiciones susceptibles de garantizar la innovación. Por un lado, la industria aeroespacial juega un papel central en la economía canadiense, principalmente en materia de innovación tecnológica. Este clúster realiza 70% de I+D canadiense, lo cual representa alrededor de 700 millones de dólares canadienses anuales (Investissement Québec, 2016). Esta inversión en I+D le permite estar a la vanguardia de la tecnología y crear constantemente nuevos productos y procedimientos con el fin de asegurar su crecimiento. Por otro lado, una de las características distintivas de este clúster radica en su arquitectura institucional, que está compuesto de una variedad de agencias intermediarias que ocupan un nicho o segmento de mercado particular y proporcionan a los actores los recursos para reforzar la capacidad de mejoramiento de las empresas del mismo. Nuestro argumento

central se basa en la idea de que la heterogeneidad y la complementariedad de las instituciones a escala regional (Crouch *et al.*, 2009) crean las condiciones que originan las innovaciones tecnológicas.

Este capítulo está dividido en tres secciones. La primera presenta a grandes rasgos nuestro marco de análisis que se inspira tanto en enfoques neoinstitucionales (Campbell, 2004; Crouch, 2005) como en estudios sobre los sistemas regionales de innovación (Heidenreich y Mattes, 2012). La segunda comienza con una descripción de la arquitectura institucional del clúster de Montreal y le sigue un análisis de las principales capacidades producidas por las instituciones regionales para garantizar el fortalecimiento de las capacidades de innovación de las empresas. El análisis se centra en tres tipos de aptitudes. En primer lugar, se interesa en la capacidad de las instituciones regionales, en particular las agencias intermedias, de estabilizar y reforzar la colaboración entre las diversas partes interesadas del clúster de Montreal. En segundo lugar, se articula alrededor de la pericia de las instituciones regionales para crear bienes públicos, en particular una mano de obra calificada. Nos interesa en especial el trabajo institucional que tiene como propósito fomentar la capacitación y el desarrollo de competencias. En tercer lugar, el análisis está enfocado en la habilidad de las instituciones regionales de crear y alimentar las redes que garantizan el aprendizaje y la transferencia de conocimiento. La tercera sección extrae las principales enseñanzas de este análisis y se centra en la importancia de reforzar las facultades regionales con el fin de facilitar el aprendizaje sistémico y la innovación interactiva (Cooke *et al.*, 1997). También busca identificar las cuestiones a las que se enfrentan los actores para asegurar la sustentabilidad de las instituciones regionales.

### **Marco de análisis: del enfoque neoinstitucional a los sistemas regionales de innovación**

Nuestra postura teórica se inspira en enfoques neoinstitucionales y en la corriente de investigación sobre los sistemas regionales de innovación. Nos parece que su crecimiento abre ricas posibilidades analíticas.

Partiendo del trabajo de Campbell, las instituciones “son conjuntos de reglas formales e informales, mecanismos de control y ejecución y sistemas de significado que definen el contexto en el que interactúan personas

y organizaciones” (Campbell, 2004: 8). Las instituciones aparecen a la vez como el producto de las interacciones entre los actores y como un conjunto de reglas y de normas que enmarcan estas interacciones. Kristensen y Morgan (2012: 421) utilizan la idea de co-constitución mutua de actores e instituciones (*mutual co-constitution of actors and institutions*) para ilustrar que estas no pueden ser tomadas independientemente de los actores que las desarrollan, las adaptan y las transforman. Este proceso de co-constitución es al mismo tiempo complejo y contradictorio e incluye una diversidad de actores con sus propias racionalidades y objetivos a menudo divergentes. Las instituciones aparecen así a la vez como una cuestión y como una fuente de poder, permiten estabilizar los comportamientos y las relaciones entre los actores siendo al mismo tiempo un mecanismo para transformar esos comportamientos y esas relaciones. Muchos autores insisten en el carácter progresivo y endógeno de los cambios institucionales (Mahoney y Thelen, 2010; Streeck y Thelen, 2005). Mahoney y Thelen (2010) hacen avanzar la idea de que las instituciones están constantemente en movimiento más que en un estado de estabilidad y proponen una tipología de cambios que se fundamenta en la co-constitución de actores e instituciones. Kristensen y Morgan (2012) recurren a la noción de las instituciones experimentales para describir este tipo de proceso de cambio. En consecuencia, en un territorio dado se yuxtapone una diversidad de instituciones que son a la vez heterogéneas y complementarias que se transforman gradualmente. Crouch (2005) enfatiza en la variedad de principios y prácticas en un mismo contexto nacional y encuentra justamente que esta variedad permite a los actores “hacer bricolaje con” instituciones nuevas al recombinar diversos principios y prácticas.

Si la investigación comparativa durante mucho tiempo ha insistido en que las instituciones nacionales son la fuente de innovaciones, actualmente concede una importancia particular al nivel infranacional (Cooke *et al.*, 1997; Heidenreich, 2005). La atracción y la retención de empresas multinacionales y los diversos componentes de sus cadenas de valor residirían cada vez más en la capacidad de las instituciones regionales para asegurar el desarrollo de competencias, recursos y conocimientos difíciles de reproducir (Almond, 2011; Coe *et al.*, 2008; Scott y Storper, 2006; Torre y Rallet, 2005). La globalización no borraría los territorios sino que provocaría su diversificación y acentuaría la pertinencia tanto de lo supranacional como de lo local, de lo infranacional y de lo nacional

como campos de acción estratégica para los actores. Esta constatación sugiere que estudiar las innovaciones en el contexto de la globalización implica no solo concentrarse en lo que está explícitamente a escala mundial sino también en las prácticas locales e infranacionales articuladas a este nivel (Sassen, 2007). Sabel (1996) desarrolla la noción de regionalismo experimental (*experimental regionalism*) para captar bien las iniciativas llevadas a esa escala.

Por su parte, Scott y Storper (2006) hacen avanzar el concepto de “patrimonio económico regional” para designar los componentes susceptibles de favorecer la innovación a esta escala. Ellos nos invitan a prestarle una atención particular a los recursos tangibles y no tangibles producidos por las instituciones. Algunos estudios insisten en los recursos intangibles como el capital social que se desarrolla en las relaciones interfirmas en el seno de sistemas de producción locales (Torre y Rallet, 2005). Otros hacen hincapié en el patrimonio institucional (*institutional legacies*) que proporciona a los actores un conjunto de normas y prácticas para transigir con las incertidumbres (Crouch *et al.*, 2009). Otros incluso usan la noción de capacidades institucionales o sistémicas para describir las ventajas que pueden sacar las empresas con su inserción en un territorio (Kristensen y Morgan, 2012). Esas capacidades institucionales remiten tanto a los marcos de referencia que los actores pueden movilizar para interpretar una situación (*framing*) como a las redes a las cuales tienen acceso (*bridging*). Según Heidenreich, “las capacidades regionales pueden ser definidas como la capacidad de crear y proporcionar bienes de competición colectivos y de estimular y estabilizar la comunicación y cooperación entre compañías regionales, escuelas, universidades, transferencia de tecnología, instalaciones de investigación y desarrollo y actores políticos y administrativos” (Heidenreich, 2005: 42).

En ese capítulo seguiremos esa línea de análisis para identificar las instituciones regionales, a saber, las reglas formales e informales, los mecanismos y sistemas de representación producidos por los actores, que favorecen la creación de tres tipos de capacidades:

- la de estabilizar y reforzar la colaboración entre las diversas partes interesadas;
- la de crear bienes públicos, principalmente en materia de mano de obra;

- la de crear y alimentar las redes que aseguran el aprendizaje y la transferencia de conocimientos.

Estas capacidades son el producto de procesos de co-constitución mutua de actores e instituciones, y sostienen las innovaciones tecnológicas, como buscamos demostrarlo en las próximas páginas a partir del estudio del caso de la industria aeroespacial de Montreal.

## **El clúster de Montreal de la industria aeroespacial**

Con 225 empresas, la región del Gran Montreal constituye la tercera capital mundial de lo aeroespacial, después de Seattle y Toulouse (Aéro Montréal, 2016). En 2009 la industria aeroespacial ocupaba el primer lugar en las exportaciones de manufactura de Quebec (CAMAQ, 2016). El sector cuenta hoy en día con una cifra de negocios de 13 000 millones de dólares canadienses y ofrece más de 40 000 empleos (MDEIE, 2016). Además la industria aeroespacial de Quebec ocupa el quinto lugar mundial en términos de efectivos y representa 55% de los efectivos canadienses del sector (Aéro Montréal 2016).

La producción se concentra en la construcción de aviones de negocios y regionales, helicópteros civiles, pequeñas turbinas y simuladores (CAMAQ, 2008). En total, 99% de las actividades de las empresas se dedican al desarrollo y a la fabricación o al mantenimiento de aeronaves, motores, material y piezas de aeronaves y abarcan productos conexos, como los equipos y los sistemas de simulación (MDEIE, 2006). Desde hace varios años se creó en Montreal un subclúster de trenes de aterrizaje.

La industria se organiza alrededor de cuatro empresas presentes desde hace muchos años: Bombardier, Bell Helicopter, CAE y Pratt & Whitney, consideradas como los artífices por los actores del clúster de Montreal. En 2010 esas cuatro empresas representaban más de 50% de la mano de obra del sector, es decir, tenían más de 23 000 empleados (MDEIE, 2010). En 2010 Bombardier Aéronautique empleaba más de 29 000 personas en el mundo. La empresa tuvo una cifra de negocios de 8600 millones de dólares y tenía una cartera de pedidos por 16 600 millones. Bombardier es la tercera constructora mundial, detrás de Airbus y Boeing. Pratt & Whitney Canada tiene casi 5 000 empleados en

Quebec, hace mucha I+D y ha destinado 1 200 millones de dólares en cinco años para hacer investigación sobre motores ecológicos. La empresa controla 30% del mercado mundial de motores de turbina de potencia pequeña y mediana y tiene ingresos por 3 000 millones de dólares. Por su parte, CAE tuvo ingresos de 1 700 millones de dólares en 2010 e invierte cerca de 10% de su cifra de negocios en I+D. De sus 7 500 empleados, 3 500 están ubicados en Montreal y es la primera constructora de simuladores de vuelo en el mundo. Bell Helicopter ha tenido un ingreso de 2 800 millones de dólares y emplea 1 800 personas en Quebec. En Canadá, sus ingresos han llegado a los 393 millones de dólares. La empresa es uno de los líderes del mundo de la industria de helicópteros civiles.

Las empresas dominantes se apoyan en un grupo de casi 190 pequeñas y medianas empresas (pymes) (MDEIE, 2016). Se trata de subcontratistas o de proveedores de productos que pertenecen a toda la gama de especialidades necesarias para el ensamblaje de una aeronave, la fabricación de piezas o software más sofisticados. Entre los fabricantes de equipos se encuentran muchas filiales de multinacionales estadounidenses o europeas que llegaron a instalarse en la gran región de Montreal para aprovechar el acceso a una reserva de mano de obra altamente calificada y de un financiamiento ventajoso (MDEIE, 2006).

Los diferentes niveles de gobierno apoyan directa o indirectamente a las empresas. La aeroespacial es considerada como una industria clave y disfruta desde hace varios años de diversas formas de apoyos financieros. Los organismos más implicados a nivel federal son Industrie Canada, el Consejo Nacional de Investigación de Canadá y el Consejo de Investigación en Ciencias Naturales e Ingeniería de Canadá. A manera de ejemplo, entre 2007 y 2012 Industrie Canada, incluida su participación en el programa de C-Series de Bombardier, aportó más de 1 200 millones de dólares a la industria aeroespacial (Theckedath, 2013). El programa CNRC Aérospatiale, que dispone de un presupuesto de 58 millones de dólares canadienses (59% en créditos federales y la otra parte proveniente de socios de la industria), colabora con las empresas y gobiernos provinciales que hacen I+D. El gobierno canadiense también propone varios programas de estímulos fiscales al ofrecer créditos de impuestos para una parte de los gastos admisibles en I+D. En suma, el gobierno federal, por medio de programas directos e indirectos de financiamiento (subvenciones, investigación cooperativa, profesores-investigadores industriales),

créditos de impuestos, apoya la industria aeroespacial con varios cientos de millones de dólares al año (Theckedath, 2013). Varios investigadores opinan que el “éxito de la industria depende de la rapidez del progreso tecnológico, razón por la cual es esencial el apoyo gubernamental a la I+D en las empresas” (Theckedath, 2013: 6).

Se puede constatar que si la ayuda del gobierno es necesaria, esta se articula a menudo alrededor de la colaboración entre los actores. Pensemos en otro ejemplo, el Programa de Redes del Centro de Excelencia dirigido por la empresa (agrupamiento aeronáutico de investigación y desarrollo ambiental), que también es apoyado por el gobierno canadiense. Por otra parte, el comité del Examen de lo Aeroespacial, lanzado en 2012 por Canadá, recomendaba “cofinanciar un programa pancanadiense destinado a mejorar la colaboración entre las empresas en aeroespacial, los investigadores y los establecimientos de enseñanza superior” (Examen de l’aérospatiale, 2012), además de mantener los niveles de financiamiento actual. En su presupuesto de 2013 el gobierno canadiense implementó 110 millones de dólares canadienses en cuatro años, más 55 millones al año para la creación de un programa de demostración de tecnologías aeroespaciales (Theckedath, 2013: 8).

Se espera que los proyectos financiados por mediación de este programa constituyan el fundamento de la próxima generación de actividades de fabricación y de servicios en Canadá. Este programa favorecerá una concentración del desarrollo tecnológico en las zonas con un potencial importante de beneficios económicos de gran alcance y a largo plazo para Canadá.<sup>1</sup>

A nivel provincial, las principales fuentes de financiamiento provienen del Ministerio de Economía, de Innovación y de Exportaciones (MDEIE), de los Fondos de Naturaleza y Tecnología de Quebec y de la Caisse de Dépôt. Las compañías también pueden aprovechar una fuente de financiamiento, complementaria a los prestadores tradicionales, proveniente de sociedades de capital de riesgo, como el Fondo de Solidaridad de la Federación de Trabajadores de Quebec. A este efecto, el fondo ofrece oportunidades de financiamiento (con la forma, por ejemplo, de

---

<sup>1</sup> Disponible en <[https://www.ic.gc.ca/eic/site/ito-oti.nsf/fra/h\\_00837.html](https://www.ic.gc.ca/eic/site/ito-oti.nsf/fra/h_00837.html)>, consultado el 10 de enero de 2016.

capital-acción o de deuda no garantizada) para las empresas del sector que deseen, principalmente, desarrollar productos que estén a la vanguardia de la tecnología, favorecer la consolidación para aumentar la talla de las empresas y asegurar el cambio. El fondo ha invertido recientemente en Sonaca, Bombardier y ABIPA. También ha invertido en AeroFund I y II, ya sea con fondos provenientes de una sociedad de gestión de portafolios (ACE Management) privada y especializada en la inversión en capital en las empresas alrededor de una dominante Aeronáutica, Marítima, Defensa y Seguridad. Otros fondos privados, como el de Finalta Capital, proponen fondos de financiamiento de crédito del impuesto a la I+D para el sector aeroespacial del orden de 15 millones de dólares canadienses. Este fondo es sostenido por Aéro Montréal y permitirá, de acuerdo con su presidente, “a las pymes miembro de Aéro Montréal aumentar su nivel de innovación y concentrar sus energías para acelerar la comercialización de tecnologías de punta”.<sup>2</sup>

Esas empresas operan dentro de un ecosistema institucional denso que reposa sobre tres pilares: el Comité Sectorial de Mano de Obra Aeroespacial (CAMAQ), el Consorcio para la Investigación e Innovación de la Industria Aeroespacial (CRIAQ) y Aéro Montréal. El cuadro 1 presenta la arquitectura institucional y las lógicas institucionales distintivas de cada una de esas agencias regionales.

**Cuadro 1. Arquitectura y lógicas institucionales**

<i>Agencias regionales</i>	<i>CAMAQ 1983</i>	<i>CRIAQ 2002</i>	<i>Aéro Montréal 2006</i>
Actores principales	Directores de recursos humanos, representantes de sindicatos y representantes del sistema educativo	Grandes compañías, universidades y pymes	Grandes compañías, universidades, pymes y sindicatos
Problemas	Escasez de mano de obra calificada. Sociedad sindicato-gerencia	Colaboración entre grandes compañías y pymes. Derechos de propiedad	Coordinación institucional: Competición/coordinación entre actores institucionales
Lógica institucional	Mejora de habilidades a través de la colaboración entre empleadores, sindicatos, agencias de educación y de gobierno	Promoción de la I+D a través de la colaboración entre empresas multinacionales (EMN) y pymes, y universidades	Optimizar la ventaja competitiva del clúster de Montreal a través de la coordinación de acción entre las partes interesadas

<sup>2</sup> Disponible en <<http://www.finaltacapital.com/aero-montreal.html>>, consultado el 10 de enero de 2016.

El CAMAQ tiene como primer objetivo asegurar la renovación de mano de obra de calidad a través de un sistema de capacitación en el seno del cual exista una estrecha relación entre las empresas y el sistema de educación y capacitación. Fue fundado en 1983 por la presión de los sindicatos, principalmente el de maquinistas (AIMTA) y el de la energía (SCEP). En 1978 esos sindicatos se acercaron al gobierno federal para denunciar que el reclutamiento se hacía en el extranjero, en detrimento de la mano de obra local. En efecto, en esa época, hasta ochocientas personas provenían de diferentes países, sobre todo de Inglaterra, para trabajar en la industria aeroespacial de Montreal. Las empresas sostenían que no tenían otra elección porque la mano de obra no estaba suficientemente calificada. El CAMAQ vivió un periodo difícil durante la década de 1990. En sus inicios fue financiado 50% por el gobierno federal, 37.5% por el provincial y 12.5% por las empresas. En 1994 el gobierno federal decidió poner fin a ese financiamiento. Luego de muchas negociaciones, el gobierno de Quebec decidió seguir solo con el financiamiento del CAMAQ y reproducir esta estructura de concertación patronal-sindical en varias industrias.

El CRIAQ fue fundado en 2002 con el impulso de actores procedentes de la Universidad de Sherbrooke y de Pratt & Whitney, con el deseo de desarrollar la investigación colaborativa universidad-empresa, quienes aprovecharon el programa Valorización Investigación Quebec (Valorisation Recherche Québec) para proponer un proyecto, que también incluía a la Escuela Politécnica, Bombardier y otras grandes compañías, las cuales sentían la necesidad de aprovechar los conocimientos de los investigadores para hacer avanzar ciertas investigaciones, en vez de hacer todo internamente. Fue así como se creó el CRIAQ, con el fin de favorecer la innovación abierta (*open innovation*) en Quebec. El CRIAQ es financiado en parte por el MDEIE con la mediación de su “Estrategia quebequense de la investigación y la innovación” y de fondos ecológicos. También cuenta con el apoyo del gobierno federal, empresas, universidades y centros de investigación. Las empresas contribuyen costeadando sus cotizaciones y participando en especie y monetariamente en los proyectos de investigación.

Gracias a su éxito, el CRIAQ se ha convertido en un modelo. Diez años después de la creación del consorcio provincial, algunas recomendaciones (Examen de l'aérospatiale, 2012) pretenden alentar al gobierno canadiense para que financie el CRIAQ con el fin de ampliar sus actividades

en todo el país o ayudar a la creación de un programa diferente que uniría el CRIAQ a otras regiones del país. Finalmente, el gobierno federal decidió, en 2014, financiar la creación de una red canadiense de investigación en la industria aeroespacial, el Consorcio Aeroespacial para la Investigación y la Innovación en Canadá (CARIC), que está bajo los auspicios del CRIAQ. El CARIC se encuentra por todo Canadá y su campo de acción se desmarca del CRIAQ, pues este financia los proyectos de investigación con fines de demostración y de comercialización, mientras que las actividades del CRIAQ tratan sobre la investigación precompetitiva.

Aéro Montréal fue creada en 2006 con el impulso de cuatro artífices del clúster aeroespacial de Montreal y del gobierno de Quebec. La creación de Aéro Montréal se inscribió inmediatamente después de una iniciativa del ministro de Industrie Canada, que había lanzado en 2004 la Canadian Aerospace Partnership, una mesa de concertación que reagrupaba las compañías aeroespaciales de Canadá. Considerando la importancia de la industria en Quebec, el gobierno provincial, en colaboración con los dirigentes de grandes empresas, decidió crear su propia estructura de coordinación. El objetivo era reunir alrededor de una misma mesa al conjunto de actores para generar una visión común, favorecer la coordinación de las acciones y asegurar la competitividad del clúster. Aéro Montréal se distingue por su capacidad de reunir a todas las partes interesadas, donde están incluidos los altos dirigentes de las más grandes empresas del clúster (artífices y fabricantes de equipos). Aéro Montréal es financiada en un 60% por fondos públicos y 40% por fondos privados, incluidas las contribuciones en dinero y las prestaciones.

Cada una de esas agencias intermediarias responde a una lógica institucional específica: el CAMAQ busca sobre todo hacer crecer las competencias de la mano de obra, el CRIAQ/CARIC tiene como objetivo generar la I+D y Aéro Montréal intenta organizar las acciones y reforzar las ventajas comparativas del clúster. Sin embargo, la visión estática de este ecosistema no corresponde a la realidad sobre el terreno.

Como veremos en la siguiente sección, esas agencias intermediarias contribuyen, cada una a su modo y de manera complementaria, a *a)* estabilizar y reforzar la colaboración entre las diferentes partes interesadas, *b)* crear bienes públicos, principalmente en materia de mano de obra, y *c)* crear y alimentar redes que aseguren el aprendizaje y la transferencia de conocimiento.

## El fortalecimiento y la estabilización de la colaboración

A un primer nivel, los intercambios entre las diferentes partes interesadas del ecosistema aeroespacial se concretizan en el seno de los consejos de administración (CA) de cada una de las agencias intermediarias y reflejan la diversidad de intereses en juego.

El CA de Aéro Montréal está compuesto por 24 miembros; quince dirigentes de empresas grandes y pequeñas, tres representantes del mundo de la educación (educación secundaria, preparatoria y universitaria), un representante del Consejo Nacional de Investigación de Canadá, un representante sindical, un representante del CRIAQ, un representante del CAMAQ y dos observadores gubernamentales, uno del MDEIE y el otro de Industrie Canada. El CA del CRIAQ está compuesto por 18 miembros, a los cuales se suman observadores (CRIAQ, 2011). El CA está formado principalmente por representantes de empresas grandes y pequeñas a los cuales se añaden seis representantes de universidades (École Polytechnique, ETS, Concordia, McGill, Laval, Sherbrooke). El CA del CAMAQ es un consejo paritario compuesto por seis representantes sindicales y seis representantes de los empleadores, generalmente administradores de recursos humanos. A este grupo se suman cinco miembros sin derecho de voto: los dirigentes del CAMAQ y de Aéro Montréal, un representante del MDEIE, otro de la Comisión de Asociados del Mercado de Trabajo (CPMT, Commission des partenaires du marché du travail) y un representante de la Asociación Quebequense del Transporte Aéreo (AQTA).

Tres rasgos distintivos permiten facilitar la comunicación y la colaboración entre las diferentes partes interesadas en el seno de esas instancias decisoras. Para empezar, todas las partes interesadas están presentes en una u otra de esas instancias, lo que permite la confrontación y la puesta en común de los intereses de cada uno de ellos. Además, a pesar de la fuerte presencia de los representantes de las empresas, los sindicatos tienen voz y voto sobre los CA de Aéro Montréal y del CAMAQ, es ahí donde tienen un poder de decisión equivalente al de los representantes de los empleadores. En América del Norte no se trata de una práctica muy extendida y esta presencia sindical constituye una particularidad de este ecosistema que refuerza la colaboración patronal-sindical. Finalmente, los dirigentes de cada una de las agencias regionales se reúnen en el CA de otras agencias intermediarias. Este crecimiento de mandatos y de roles les

permite no solamente aportar sus contribuciones respectivas en el campo que les concierne, sino también evitar la división de los proyectos y programas. También posibilita reducir las incertidumbres y coordinar las acciones de unos y otros favoreciendo así una colaboración más grande.

Cada una de las agencias intermediarias crea igualmente espacios para asegurar los intercambios entre las empresas y con los otros participantes de la industria. Desde 2002 el CRIAQ organiza anualmente foros de investigación, los cuales tienden a hacer emerger los temas de investigación más pertinentes para las empresas y acoplarlos con los intereses de los investigadores. El CRIAQ quiere estimular en particular la colaboración entre los especialistas industriales y los investigadores universitarios con el fin de desarrollar proyectos de investigación precompetitiva para la industria. En colaboración con el CRIAQ, las empresas tienen acceso a la experiencia de los investigadores, lo que favorece que saquen adelante sus proyectos. Los colaboradores que provienen de las universidades son investigadores de alto nivel y estudiantes. Los investigadores cuentan con un apoyo financiero de diferentes fuentes, en particular de organismos financiadores públicos, y tienen acceso a campos de investigación.

Como intermediario en un sistema de colaboración abierta, el CRIAQ anima a las empresas a trabajar en una variedad de proyectos. El CRIAQ asegura una sinergia entre los diferentes participantes. Exige el respeto de una condición mínima para todos los proyectos: cada uno requiere la participación de dos empresas y de dos organizaciones de investigación, principalmente de universidades o de colegios. Esta condición se exige por igual para los proyectos de más grande envergadura que se terminan por lo general en las empresas. De 2002 a 2004 ninguna investigación progresó, a pesar de haberse lanzado una veintena de proyectos. De una parte y de la otra, las discusiones tropezaban con los derechos de propiedad intelectual. Para contrarrestar esa dificultad, el CRIAQ concibió un entendimiento genérico, en el cual se convino que la industria conserve la propiedad en el dominio de lo aeroespacial, mientras que las universidades pueden utilizar en otros sectores industriales las tecnologías desarrolladas. Desde entonces, una veintena de proyectos ha sido completada y más de cien están en curso, de los cuales unos sesenta están en marcha y unos cuarenta en desarrollo. Los proyectos oscilan entre 850 000 y un millón de dólares y reagrupan tres o cuatro empresas y un mismo número de laboratorios de investigación.

Los proyectos del CRIAQ están repartidos en diferentes niveles, como es el caso de los proyectos de la NASA. Se les clasifica en función del nivel de madurez tecnológica (TRL: Technology Readiness Level). De acuerdo con esta clasificación, el nivel uno corresponde a la investigación fundamental, y los niveles dos y tres, a la investigación aplicada. Los proyectos que alcanzan el nivel seis corresponden a la etapa de demostración y pueden llegar a la de comercialización. Los proyectos iniciados en el CRIAQ por lo general se sitúan entre el nivel uno y el cuatro (investigación precompetitiva). Sin embargo, desde hace dos años el CRIAQ guía a los miembros en los proyectos que pueden alcanzar la etapa de demostración, incluso de comercialización. Para el CRIAQ, se trata de un cambio importante porque lo llevará a jugar un papel más destacado en la realización de proyectos por la intermediación del CARIC. La creación del CARIC también puede hacer crecer la colaboración centrada en proyectos de investigación con fines de comercialización. En el transcurso de los últimos dieciocho meses el CARIC ha iniciado una veintena de proyectos.

Aéro Montréal contribuye igualmente en la colaboración entre las diferentes partes interesadas del ecosistema creando espacios de intercambio. Busca reunir a los actores alrededor de objetivos comunes para la puesta en marcha de campos de trabajo. Sus iniciativas se estructuran alrededor de cinco campos: *a)* cadena de aprovisionamiento; *b)* imagen, visibilidad e influencia; *c)* innovación; *d)* relevo y mano de obra, y *e)* defensa y seguridad nacional. En el seno de cada uno de estos campos, diversos participantes que provienen de una variedad de medios (empresas, sindicatos, instancias gubernamentales, centros escolares y otros medios asociados) son llamados a colaborar en la implementación de políticas y programas. Por ejemplo, el campo de innovación tenía por objetivo intensificar los esfuerzos de la industria en I+D con el fin de mantener la competitividad de la industria. Aéro Montréal, en colaboración con el CRIAQ, organizó en 2009 el foro “Innovación Aeroespacial” (*Innovation Aérospatiale*). Ese foro dio lugar a un libro blanco que establece las directrices en materia de estrategias de innovación para la industria.

El CAMAQ contribuye de igual manera a asegurar la colaboración entre las firmas en cuestión de gestión de talentos para la creación de diferentes actividades. Por ejemplo, instaló comités de recursos humanos regionales, para responder de una manera más puntual a las necesidades de capacitación de las empresas, sobre todo de las pymes. Esos comités

son lugares privilegiados para favorecer los intercambios entre las empresas sobre problemáticas comunes ligadas a la gestión de talentos y a la coordinación de acciones en ese campo neurálgico para la industria.

En suma, las agencias intermediarias pueden ser concebidas como incubadoras que crean espacios para la resolución de problemas a los cuales se enfrentan los actores del ecosistema y les permiten crear vínculos y alianzas que favorecen la colaboración.

### El desarrollo de una mano de obra de calidad

El clúster de la industria aeroespacial se fundamenta en una densa red de institutos de capacitación y educación. En 1964 fue fundada la Escuela Nacional de Aerotécnica (ENA), con el fin de asegurar la preparación de técnicos en construcción aeronáutica, en mantenimiento de aeronaves y en aviónica (ENA, 2011). En 1994, impulsada por el CAMAQ, y en sociedad con el Ministerio de Educación de Quebec, la Escuela de Oficios Aeroespaciales (EMAM) ofrece una formación de nivel secundaria basada en el principio de la escuela-fábrica mediante varios programas especializados en la industria aeroespacial, dedicados a la preparación de obreros calificados.

A nivel universitario, desde 1984 se creó en tres universidades de Montreal una maestría en ingeniería mecánica, opción aeronáutica. En 1989 el CAMAQ contribuía, con la ayuda de universidades y empresas, al lanzamiento de la maestría en aeroespacial. Desde 2001 el Instituto Aeroespacial de Montreal (IAM) selecciona estudiantes de primer año de ingeniería teniendo en cuenta sus méritos escolares, sus capacidades y su interés por lo aeroespacial (IAM, 2011). Esos estudiantes toman cursos especializados y realizan cuatro estancias en empresas, en Montreal y en el extranjero. Las cuatro universidades de Montreal, la ETS (afiliada a la Universidad de Quebec en Montreal), la Escuela Politécnica (afiliada a la Universidad de Montreal), Concordia y McGill están implicadas en ese proyecto.

Uno de los mandatos centrales del CAMAQ es favorecer una gestión constante del flujo de mano de obra y la capacitación en el seno del clúster. El CAMAQ produce desde 1984 sondeos anuales sobre las previsiones de mano de obra y hace balances sectoriales. Mientras que los sondeos

permiten tener una idea de las necesidades a corto plazo de las empresas, los balances contribuyen más a la planificación a mediano y corto plazo. Además, se lleva a cabo un censo anual en las empresas con el fin de identificar las necesidades de capacitación y las categorías de empleo donde el reclutamiento resulta más difícil. El CAMAQ produce cada año un reporte agregado que permite a los participantes seguir la evolución del mercado de trabajo en su industria e identificar las tendencias con problemas.

Recientemente, el CAMAQ desarrolló diferentes iniciativas para garantizar el desarrollo de mano de obra calificada. Implementó comités de recursos humanos regionales con el propósito de responder de manera puntual a las necesidades de capacitación de las empresas, sobre todo de las pymes. Esos comités regionales ofrecen un servicio más dirigido a las empresas. Además, el CAMAQ es reconocido como un organismo formador por Empleo Quebec (Emploi Québec) con el fin de apoyar y de aconsejar a las pymes aeroespaciales en la elaboración de planes de capacitación y de capacitación de su personal. Otra iniciativa consiste en la creación de una mutual de capacitación, con el apoyo del programa Inversión-Competencia (Investissement-Compétence) de la Comisión de Asociados del Mercado de Trabajo. La mutual tiene como objetivo favorecer el desarrollo de una cultura de capacitación en las pymes. Esas empresas invierten anualmente en la mutual y pueden utilizar los recursos de esta para satisfacer sus necesidades de capacitación. Aéro Montréal contribuye por igual a la renovación de la mano de obra pero en una perspectiva de más largo plazo. El campo Relevé y Mano de Obra, en el cual colabora el CAMAQ, trata sobre la perseverancia escolar y busca atraer a los jóvenes hacia la industria. Se basa en el proyecto “Eso planea para mí” (“*Ca plane pour moi*”), dirigido a alumnos de primaria, y busca sensibilizarlos hacia las carreras científicas, y a la aeroespacial en particular. El foro organizado por Aéro Montréal en diciembre de 2011 dio como resultado, luego de una proposición del CAMAQ, la creación del Laboratorio de Aprendizaje de Sistemas Integrados Aeroespaciales de Quebec (LESIAQ, Laboratoire d’enseignement des systèmes intégrés en aérospatiale du Québec).

A mediano y largo plazo, cada una de esas agencias intermediarias contribuye al desarrollo de las competencias de la mano de obra de la industria. La capacitación inicial de la mano de obra es reconocida mundialmente y se adapta a la realidad de la industria. Esta adecuación está

íntimamente ligada a los esfuerzos de los actores de este ecosistema para desarrollar escuelas de oficios y de programas universitarios que correspondan a las necesidades de la industria.

### La transferencia de conocimiento y la formación de redes industriales

Varios polos de transferencia de conocimiento trabajan en el seno del clúster aeroespacial de Montreal. En esta sección se hace hincapié en tres de ellos: la investigación colaborativa, la mejora (*upgrading*) de las capacidades y la de las prácticas de gestión de recursos humanos de las pymes.

La transferencia de conocimiento en investigación colaborativa ocurre, como se ha visto, gracias a las iniciativas implementadas anteriormente por el CRIAQ. Esta transferencia de conocimiento se desarrolla en varios niveles. Para comenzar, entre las empresas, entre los centros de investigación, principalmente los universitarios, y entre los centros y las empresas. Se trata en este sentido de un cruce entre investigación de naturaleza pública y privada. Luego hay una transferencia intergeneracional. En efecto, el conjunto de proyectos llevados a cabo en el CRIAQ implica a estudiantes de maestría y de doctorado, incluso de posdoctorado. A este respecto, el CRIAQ constituye una incubadora de jóvenes talentos que genera un relevo especializado para las empresas del sector a través del involucramiento de los estudiantes en los proyectos iniciados por los miembros colaboradores del CRIAQ. Este tipo de participación favorece la transferencia de conocimiento y permite al mismo tiempo que los estudiantes se integren en las redes profesionales.

La transferencia de conocimiento para garantizar la mejora (*upgrading*) de las capacidades de las pymes se estructura alrededor del campo Cadena de Aprovisionamiento, iniciada por Aéro Montréal. Este campo tiene como objetivo optimizar la cadena de aprovisionamiento del clúster con el fin de hacerlo más competitivo. Se enfoca en las pymes con la colaboración de directores y de fabricantes de equipos. En junio de 2011 se lanzó la iniciativa MACH, la cual busca ayudarlas a mejorar sus capacidades. Las pymes son seleccionadas por grupo y patrocinadas por grandes empresas que las ayudan para que mejoren sus procesos de gestión.

Más de un centenar de profesionales de la industria participaron en la elaboración del proyecto que se escalonará en un periodo de cinco años y que incluirá a setenta pymes. Inicialmente, veinte de este tipo de empresas fueron seleccionadas por grandes compañías. Cada una es evaluada con base en una matriz que comprende dimensiones que miden el nivel operacional, el liderazgo y las capacidades gerenciales. Luego de esa evaluación, la pyme es clasificada en diferentes escalas que varían de 1 a 5, en el que 5 constituye la mejor nota. Apoyándose en esta evaluación, la empresa establece con su patrocinador los objetivos a priorizar para obtener un nivel superior. Se hace una reevaluación anualmente para medir el progreso de cada una de ellas. En colaboración con el CAMAQ, se ofrecen diversas capacitaciones con el fin de apoyar a las pymes para que alcancen niveles superiores. El objetivo es apoyarlas para que logren el nivel 5, lo que las convertirá, según los representantes de Aéro Montréal, en proveedores de clase mundial. Para finales de 2015, cuarenta pymes estaban comprometidas en ese proceso de mejora y de transferencia de mejores prácticas.

El CAMAQ participa también en la mejora de prácticas de gestión de recursos humanos de las pymes por mediación de otra iniciativa que busca garantizar que se compartan y difundan las buenas prácticas. Esa iniciativa incluye únicamente a las pymes que buscan prácticas adaptadas a su contexto. Este proceso de compartir inicia con la puesta en común de experiencias y la selección de una pyme que destaque por la utilización de políticas y prácticas innovadoras, y en ciertos casos, puede continuar con visitas a empresas en el curso de las cuales la pyme seleccionada explica más a fondo las prácticas innovadoras que ha desarrollado. Esa iniciativa, además de favorecer la puesta en común de experiencias concretas y la transferencia de prácticas innovadoras, también facilita la utilización de redes entre las pymes.

## Conclusión

A partir del caso del clúster aeroespacial de Montreal, en este capítulo, se intentó demostrar que la construcción de capacidades a escala regional es un proceso acumulativo que incluye una variedad de asociaciones (empleadores, sindicatos, etc.), empresas y agencias públicas y privadas.

Buscamos mostrar que la capacidad de las instituciones regionales, en particular las agencias intermediarias, para estabilizar y reforzar la colaboración entre las diversas partes interesadas, para crear bienes públicos como una mano de obra calificada, y para instaurar y nutrir las redes que garanticen el aprendizaje y la transferencia de conocimientos, resulta de un trabajo de colaboración entre el CRIAQ, el CAMAQ y Aéro Montréal. Las acciones de esas diferentes agencias intermediarias se mezclan y se refuerzan mutuamente para favorecer la convergencia interdisciplinaria de conocimientos. Esas agencias intermediarias de la región de Montreal también tienen el potencial de asegurar la capacidad del clúster para aprovechar las múltiples oportunidades de convergencia interinstitucional e interregional; juegan un papel decisivo y actúan como puntos de convergencia o *honest broker(s)* (Davenport *et al.*, 1998; Bjerregaard, 2010). En ese sentido, esas instituciones regionales son a la vez heterogéneas y complementarias.

El caso presentado en este capítulo muestra bien, como lo subrayan Heidenreich y Mattes (2012), que “las instituciones regionales pueden apoyar a compañías para enfrentar los desafíos de la cooperación heterogénea al reducir la brecha entre diferentes organizaciones y los subsistemas de la sociedad”. El caso pone notablemente en evidencia cómo las instituciones regionales pueden compensar la ausencia de recursos en las pymes. Las capacidades producidas por esas instituciones permiten mejorar de manera significativa las capacidades (*capacity enhancing*) internas de las pymes. Este efecto de sustitución es crucial para permitir a las pymes integrarse a las cadenas de valor mundiales.

Si el caso del clúster aeroespacial de Montreal pone en evidencia el papel esencial de las instituciones regionales, su perennidad está lejos de estar garantizada. En primer lugar, esas instituciones descansan sobre una inversión financiera del Estado y sobre una concepción intervencionista en la que este juega un papel de empresario. Las políticas de austeridad, y en mayor medida las políticas neoliberales, pueden ocasionar daño a esas instituciones incluso si su aporte a la economía de una región es innegable (Cooke, 1998; Heidenreich y Mattes, 2012; Crouch *et al.*, 2009; Scott y Storper, 2006). En segundo lugar, la multiplicación de fuentes de innovación exógenas al clúster representa una difícil prueba a la capacidad de actuar de las instituciones regionales, en particular a su capacidad de poner los establecimientos en red, a difundir las innovaciones y a proporcionar

nuevos marcos de referencia. La participación de las empresas en el seno de sistemas regionales representa entonces una cuestión estratégica importante, sabiendo que el éxito de las instituciones regionales depende sobre todo de la voluntad de los actores individuales y colectivos para reapropiarse de ellas, y desarrollarlas para que respondan a sus necesidades particulares. En tercer lugar, las innovaciones tecnológicas disruptivas asociadas a la cuarta revolución industrial podrían traducirse en la pérdida de empleos masivos y en el cierre de numerosas unidades de producción. Esos efectos negativos podrían tener repercusiones importantes en la voluntad de los actores para colaborar entre sí y presionarlos para que adopten estrategias de ensimismamiento. Se vuelve entonces imperativo crear reuniones institucionales que refuercen todavía más el trabajo colaborativo y la capacidad de reaccionar del conjunto de los actores.

## Referencias

- Aéro Montréal (2016). *Aérospatiale*. Disponible en <<http://www.aeromontreal.ca/secteur-de-laerospatiale/>>, consultado el 5 de enero de 2016.
- Almond, Phil (2011). "The Sub-national Embeddedness of International HRM", *Human Relations*, vol. 64, núm. 4, pp. 531-551.
- Bierly, Paul y Alok K. Chakrabarti (1999). "Managing Through Industry Fusion", en Klaus Brockhoff, Alok K. Chakrabarti y Jürgen Hauschildt (eds.), *The Dynamics of Innovation: Strategic and Managerial Implications*, Berlín/Nueva York, Springer, pp. 3-26.
- Bjerregaard, Toke (2010). "Industry and Academia in Convergence: Micro-Institutional Dimensions of R&D Collaboration", *Technovation*, vol. 30, núm. 2, pp. 100-108.
- Broring, Stefanie (2010). "Developing Innovation Strategies for Convergence: is 'Open Innovation' Imperative?", *International Journal of Technology Management*, vol. 49, núm. 1-3, pp. 272-294.
- Campbell, John L. (2004). *Institutional Change and Globalization*, Princeton, Princeton University Press.
- Casalet Ravenna, Mónica (2016). "Convergencia y manufactura avanzada en el sector aeroespacial", en Mónica Casalet (ed.), *Convergencia del conocimiento y las tecnologías: Enfoques, dimensiones y aplicaciones*, México, Flacso México.

- Coe, Neil M., Peter Dicken y Martin Hess (2008). "Global Production Networks: Realizing the Potential", *Journal of Economic Geography*, vol. 8, núm. 3, pp. 271-295.
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale du Québec (CAMAQ) (2016). CAMAQ. Disponible en <<http://www.camaq.org/>>, consultado el 5 de enero de 2016.
- Comité sectoriel de main-d'œuvre en aérospatiale du Québec (CAMAQ) (2008). *Recensement des emplois au 1er janvier 2008 et prévisions au 1er janvier 2009 et au 1er janvier 2010: industrie aérospatiale au Québec*, Montreal, CAMAQ.
- Cooke, Philip (1998). "Introduction: Regional Innovation Systems", en Philip Cooke, Martin Heidenreich y Hans-Joachim Braczyk (eds.), *Regional Innovation Systems: The Role of Governance in a Globalized World*, Nueva York, Routledge, pp. 1-18.
- Cooke, Philip, Mikel G. Uranga y Goio Etxebarria (1997). "Regional Innovation Systems: Institutional and Organizational Dimensions", *Research Policy*, vol. 26, núm. 4, pp. 475-491.
- Crouch, Colin (2005). *Capitalist Diversity and Change: Recombinant Governance and Institutional Entrepreneurs*, Oxford/Nueva York, Oxford University Press.
- Crouch, Colin, Martin Schröder y Helmut Voelzkow (2009). "Regional and Sectorial Varieties of Capitalism", *Economy and Society*, vol. 38, núm. 4, pp. 654-678.
- Davenport, Sally, John Davies y Charlotte Grimes (1998). "Collaborative Research Programmes: Building Trust from Difference", *Technovation*, vol. 19, núm. 1, pp. 31-40.
- École nationale d'aérotechnique (ENA) (2011). Disponible en <<http://ena.college-em.qc.ca/>>, consultado en noviembre de 2011.
- Examen de l'aérospatiale (2012). *Au-delà de l'horizon: les intérêts et l'avenir du Canada dans l'aérospatiale*. Disponible en <[http://examen-aerospatiale.ca/eic/site/060.nsf/fra/h\\_00033.html](http://examen-aerospatiale.ca/eic/site/060.nsf/fra/h_00033.html)>, consultado el 11 de febrero de 2016.
- Heidenreich, Martin (2005). "The Renewal of Regional Capabilities: Experimental Regionalism in Germany", *Research Policy*, vol. 34, núm. 5, pp. 739-757.
- Heidenreich, Martin y Jannika Mattes (2012). "Regional Embeddedness of Multinational Companies and their Limits: A Typology", en Martin

- Heidenreich (ed.), *Innovation and Institutional Embeddedness of Multinational Companies*, Londres, Edward Elgar, pp. 29-58.
- Institut d'aérospatial de Montréal (IAM) (2011). *Institut aérospatial de Montréal*. Disponible en <<http://www.mai-aero.ca>>, consultado el 10 de noviembre de 2011.
- Investissement Québec (2016). *Aérospatiale*. Disponible en <<http://www.investquebec.com/international/fr/secteurs-activite-economique/aero-spatiale.html>>, consultado el 5 de enero de 2016.
- Kristensen, Peer Hull y Glenn Morgan (2012). "From Institutional Change to Experimentalist Institutions", *Industrial Relations*, vol. 51, núm. 1, pp. 413-437.
- Le Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRIAQ) (2011). *CRIAQ*. Disponible en <<http://www.criaq.aero/>>, consultado en noviembre de 2011.
- Mahoney, James y Kathleen Thelen (2010). *A Theory of Gradual Institutional Change*, en James Mahoney y Kathleen Thelen (eds.), *Explaining Institutional Change: Ambiguity, Agency and Power*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 1-38.
- Mazzucato, Mariana (2013). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*, Nueva York, Anthem Press.
- Ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations du Québec (MDEIE) (2016). Disponible en <<https://www.economie.gouv.qc.ca/accueil/>>, consultado el 5 de enero de 2016.
- Ministère du Développement Économique, de l'Innovation et des Exportations du Québec (MDEIE) (2010). *L'industrie de l'aérospatiale au Québec: faits saillants et chiffres du secteur 2009*, Quebec, Gouvernement du Québec, Ministère du développement économique, de l'innovation et de l'exportation.
- Ministère du Développement Économique, de l'Innovation et des Exportations du Québec (MDEIE) (2006). *Stratégie de développement de l'industrie aéronautique québécoise*, Quebec, Gouvernement du Québec, Ministère du développement économique, de l'innovation et de l'exportation.
- Sabel, Charles F. (1996). *Experimental Regionalism and the Dilemmas of Regional Economic Policy*, comunicado presentado en la Conference on Socio-Economic Systems of Japan, the United States, the United Kingdom, Germany, and France, Institute of Fiscal and Monetary Policy, Tokio, Japón, el 16 de febrero.

- Sassen, Saskia (2007). *La globalisatio. Une sociologie*, París, Gallimard.
- Scott, Allen y Michael Storper (2006). "Régions, mondialisation et développement", *Géographie, Économie, Société*, vol. 8, núm. 2, pp. 169-192.
- Streeck, Wolfgang y Kathleen Thelen (2005). *Beyond Continuity: Institutional Change in Advanced Political Economies*, Oxford, Oxford University Press.
- Theckedath, Dillan (2013). *L'industrie aérospatiale canadienne et le rôle du gouvernement fédéral*, comunicado de la Division de l'économie, des ressources et des affaires internationales-Service d'information et de recherche parlementaires, Canadá, Bibliothèque du Parlement, 21 de febrero.
- Torre, André y Alain Rallet (2005). "Proximity and Localization", *Regional Studies*, vol. 39, núm. 1, pp. 47-60.



## IX. Una mirada a la industria aeroespacial en Italia y a los procesos de convergencia del conocimiento en este sector

*Prudenzio Mochi Alemán,\* Cristina Girardo\*\**

### Introducción

En este capítulo realizamos una panorámica de la industria aeroespacial en Italia, sus características económicas, empresariales, distribución territorial en distritos tecnológicos, empleo y exportaciones. Se destacan las actividades del sector público en apoyo a la industria aeroespacial, se describe un proceso de producción dentro de una empresa del sector y el análisis del Departamento de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial (Dimeas), del Politécnico de Turín, Italia, con datos referidos a su organización y actividad de innovación alrededor de la convergencia científico-tecnológica de plataformas transdisciplinarias. Italia cuenta en el campo aeronáutico con una relevante tradición histórica desde comienzos del siglo xx, la cual ha perdurado a través de los años, otorgándole actualmente, junto al sector espacial, un lugar importante a nivel nacional, regional, local e internacional. Por otra parte, el conjunto de actores que conforman el sector aeroespacial, de la defensa y de la seguridad, sobre todo las empresas y las asociaciones público-privadas, junto con las políticas públicas que promueven los gobiernos en las distintas escalas territoriales, otorgan al sector una potencialidad de desarrollo relevante en términos sociales, económicos y estratégicos. En este sentido se trata

---

\* Doctor en Ciencias Políticas por la Universidad de Turín, Italia y doctor en Estudios Latinoamericanos por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor investigador del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM.

\*\* Doctora en Pedagogía por la Universidad de Turín, Italia y doctora en Estudios Latinoamericanos por la UNAM. Profesora investigadora de El Colegio Mexiquense, A. C.

de un importante sector *high-tech*, de manufactura avanzada (Casalet, 2016), en donde el nuevo paradigma basado en la convergencia del conocimiento (Roco *et al.*, 2013) se manifiesta en programas de investigación y desarrollo (I+D), que se llevan a cabo en diversos centros de investigación de excelencia, los cuales, conjuntamente con el sector privado y los clústeres y/o distritos establecidos en distintas regiones del país, transfieren e intercambian sus conocimientos en procesos multidireccionales. Asimismo la fuerza de este sector radica en la competencia, innovación, calidad, productividad y en nuevas capacidades organizativas que le permiten proyectarse como una fuerza motriz para la economía en general y le otorgan al territorio competitividad y riqueza. Se trata de un sector dinamizado desde las políticas públicas, tanto en los distritos con amplia trayectoria industrial, como en aquellos en los que se busca la convergencia territorial con las políticas públicas de la Unión Europea y los Estados nacionales y regionales. Con este trabajo nos interesa describir el sector aeroespacial en Italia, caracterizado por una tendencia hacia la innovación y a la generación de valor agregado a lo largo de la cadena productiva (Sinatra *et al.*, 2008), así como por su dinámica división en importantes clústeres y/o distritos. Nos proponemos también identificar los procesos de convergencia científico-tecnológica y territorial como dos paradigmas que se manifiestan en el sector. Para ello describimos brevemente un proceso de producción dentro de una empresa del sector y seleccionamos un caso de estudio, que se encuentra en estrecha vinculación con un distrito específico, como es el Dimeas, radicado en el Distrito Tecnológico del Piamonte. Los convenios firmados entre Italia y México,<sup>1</sup> en materia de cooperación entre ambos países en el sector aeroespacial, tienen como propósito profundizar en el conocimiento de este país y entender cuáles son los puntos de fuerza del sector aeroespacial italiano tanto a nivel in-

---

<sup>1</sup> Acuerdo de Cooperación Científica y Tecnológica, firmado el 19 de septiembre de 1997; Protocolo Ejecutivo para los años 2011-2013; Verbal de la Sub-comisión Científica y Tecnológica en el ámbito de la III Comisión entre Italia y México, firmada el 24 de mayo de 2012; Declaración Conjunta de Partenariado Estratégico entre la República Italiana y los Estados Unidos Mexicanos, firmada el 24 de mayo de 2012, en la cual la tecnología espacial se considera uno de los sectores prioritarios de la cooperación; Acuerdo de Cooperación entre la Agencia Espacial Mexicana (AEM) del Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y la Agencia Espacial Italiana (ASI) relativo a la cooperación en campo espacial para fines pacíficos, firmado el 3 de octubre de 2012; Partenariado entre la Agencia Espacial Italiana y la Agencia Espacial Mexicana, firmado el 16 de junio de 2015.

dustrial como académico, cómo se organizan transdisciplinariamente en el ámbito de la formación y la investigación para responder a los cambios productivos y tecnológicos del sector, cuáles son las principales características en la creación de grupos de investigación y establecimiento de redes de transferencia de conocimiento entre sectores productivos, academia y territorio, cómo captan estos procesos de colaboración y cuáles son los aspectos regulatorios y registro de patentes en el sector.

Con el afán de responder a lo anterior se realizó este trabajo, para poder en un futuro trazar líneas comparativas y de aprendizajes sobre el sector, así como su dinámica institucional en torno a la convergencia científica, tecnológica y territorial. Se realizaron ocho entrevistas abiertas con actores claves del sector.<sup>2</sup> El capítulo se articula de la siguiente manera: en un primer momento se describen las características del sector aeroespacial en Italia; posteriormente se explica un proceso de producción en Alenia Aeronáutica, empresa innovadora dentro del sector, y se analiza el Dimeas. Se concluye destacando la relevancia del sector, la maduración de los distritos industriales y de las políticas públicas. Si bien la convergencia científico-tecnológica se evidencia por la transdisciplinariedad de los grupos de investigación, construcción de nuevas áreas, de formas de organización complejas, de productos y procesos innovadores que colocan a la academia en un destacado lugar, todavía falta generar instrumentos y estrategias metodológicas que nos permitan analizar y evaluar con mayor profundidad estos procesos convergentes.

## Una fotografía del sector aeroespacial en Italia

Italia se destaca por ser un país manufacturero industrial. En ese contexto la industria aeroespacial, con su larga trayectoria, representa a la manufactura avanzada como un sector consolidado, con niveles de excelencia en el campo de la investigación en general, tanto teórica como aplicada, y

---

<sup>2</sup> Las entrevistas fueron realizadas a investigadores y funcionarios del sector en Italia durante los meses de junio a septiembre de 2015, en el marco del proyecto "Acuerdos de colaboración para la innovación: diferentes estrategias productivas y de vinculación para el desarrollo sectorial y regional", financiado por el Conacyt y coordinado por la doctora Mónica Casalet Ravenna.

con especial énfasis en la espacial. La industria funciona con base en una fuerte colaboración entre empresas grandes, medianas y pequeñas. Es importante señalar que esta colaboración se da con base en una confianza generadora de lealtad dentro de la industria adquirida a través de los años. Se estima que la industria aeroespacial en su conjunto factura anualmente 13.6 mil millones de euros, de los cuales 7 000 millones corresponden al total de las exportaciones, contribuyendo con 1% al PIB y de 8% a 10% de la balanza comercial, 2% de las exportaciones nacionales. El sector cuenta con un total de 60 000 empleados directos, de los cuales un tercio son ingenieros. Ocupa el séptimo lugar a nivel mundial y el cuarto en Europa, por número de ocupados y volumen. En cuanto a sistemas integrados de alta tecnología, representa el polo manufacturero de Italia más dinámico y con fuertes posibilidades de crecimiento y expansión.

El sector, igual que en otros países, se divide en a) aeronáutica comercial, b) aeronáutica militar y c) espacial. La aeronáutica comercial es una combinación de actividad de investigación, de innovación tecnológica y su integración con productos industriales: helicópteros, control del tráfico aéreo, sistemas de radar, aviones de entrenamiento, infraestructura aérea, aeronaves y actividades relacionadas. La espacial se caracteriza por el desarrollo y construcción de satélites, observación del Universo y de la Tierra, telerrelevamiento para la gestión de desastres naturales, telemedicina, ciencias espaciales, astronomía, entre otras.

Entre las empresas líderes destacan Alenia Aeroespacial, Avio, AugustaWestland, Selex Galileo, MBDA y Telespacio. Y se podrían agregar, entre otras, Alenia SIA, Microtécnica, Mecaer, ALTEC, Aviospace, Selex Sistemas Integrados, Compañía General para el Espacio y Segunda Mona. Alenia desarrolló el modelo aeronáutico de transporte C-27J y el de entrenamiento (*addestratore*) M-346, ambos de punta a nivel internacional en sus respectivas categorías, y también desarrolla, produce y ensambla partes importantes de Typhoon Eurofighter y F-35 "Joint Strike Fighter", produce componentes estructurales mayores para Boeing 787 Dreamliner, Airbus, ATR42/72 y SS100 en colaboración con Sukhoi. AugustaWestland es líder mundial de la industria de los helicópteros civil y militar. Avio participa en los programas internacionales más importantes para desarrollar motores para el ala fija y la pala rotante civil y en programas militares EJ200 y TP400, así como en el propulsor GTF (Gearing Turbo Fan) y en programas comerciales nuevos de Bombardier, Mitsubishi,

Irkut/UAC y Airbus. En el sector espacial Thales Alenia Space Italia desarrolló y produjo gran parte de los elementos presurizados de la Estación Espacial Internacional (ISS), así como satélites científicos como Integral y GOCE y satélites de observación de la Tierra o navegación como SICRAL, COSMO-SKYMED y Galileo. Avio, a través de ELV/European Launch Vehicle —70% Avio y 30% ASI—, desarrolló y realizó el lanzamiento ligero VEGA, además provee a ARIANE las sofisticadas turbobombas LOx. A estas destacadas empresas líderes en el sector se suman otras, como la Compañía General para el Espacio y Piaggio Aero Industrias.

La Agencia Espacial Italiana (ASI) es la entidad pública encargada de promover las actividades espaciales de ese país, bajo la supervisión del Ministerio de Investigación, Universidad y Empresa (MIUR). La ASI promueve, coordina y desarrolla la investigación aplicada y las políticas públicas que implementan los programas espaciales nacionales. También se ocupa de desarrollar y gestionar los programas espaciales nacionales, así como la participación italiana en el espacio europeo e internacional. Es la encargada de firmar los programas de cooperación internacional, difundir el conocimiento derivado de investigaciones y promueve la educación en el campo de la investigación y la tecnología espacial otorgando becas y recursos para su realización.

## **Investigación y formación de recursos humanos**

Italia invierte alrededor de 12% del gasto en su conjunto en I+D en nuevas tecnologías para el sector aeroespacial, aunque si bien es necesario señalar que gasta en investigación (no militar) solo 1.3% del PIB, es decir la mitad de la media de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2.4%) y un tercio de cuanto emplean Israel, Corea o Finlandia. A diferencia de otros sectores tecnológicos, el aeroespacial se diferencia por su sinergia entre el mundo científico y el industrial, este último capaz de traducir en tecnologías confiables los resultados de la investigación científica, tanto para las grandes empresas como para las pequeñas y medianas. En Italia existe una comunidad científica consolidada, con investigación de excelencia reconocida a nivel internacional. La investigación realizada en el ámbito de la astrofísica, en lo que concierne al área espacial, figura entre las

disciplinas de punta y excelencia; la geodesia espacial (cuyo centro se encuentra en Matera-Centro de telerrelevación CIDOT), con la tecnología de sensores, de las telecomunicaciones y de la propulsión, complementan un cuadro de la convergencia transdisciplinaria de amplio relieve.

En el área espacial destaca la observación de la Tierra: Italia cuenta con un sólido desarrollo en el sector, corroborado por años de estudio, y una excelencia que se refuerza por la tradición que tiene en la materia.

Institucionalmente, toda la actividad de investigación y desarrollo tecnológico se programa y orienta desde la Plataforma Tecnológica Nacional (ACARE). Esta referencia tiene sus orígenes en la ACARE europea (Consejo Consultivo Europeo para la Investigación Aeroespacial), de donde emana la agenda estratégica para el sector (SRA).<sup>3</sup>

En todo el país la presencia de centros de investigación, universidades y laboratorios especializados en el sector aeroespacial dan cabida a muchos investigadores y expertos que trabajan en ese ámbito en los distintos distritos industriales. Entre las instituciones más destacadas podemos mencionar el Centro Nacional de Investigación (CNR), que implementa el Plan Nacional de Investigación (PNR), el cual incluye capítulos y temas relevantes para la aeronáutica y el espacio y se encuentra de manera muy activa en todas las regiones. La ASI y la Agencia Espacial Europea (ESA-ESRIN, European Space Research Institute) promueven, coordinan y desarrollan las actividades vinculadas con el espacio en Italia. La ESA es considerada el segundo Centro de Observación de la Tierra y uno de los cinco centros especializados en Europa. El Instituto de Astrofísica Espacial y Física Cósmica (IASF) y el Instituto de Física Espacial Interplanetario son otros centros destacados que podemos mencionar. Una de las principales instituciones de investigación de excelencia en cuanto al estudio sobre materiales es el Centro de Desarrollo de Materiales (CSM), el cual se encuentra en varias regiones, pero es en la Lazio y Campania donde desarrolla actividades más acordes con la industria aeroespacial y cuenta con competencias en torno a equipos experimentales en aleaciones de aluminio, titanio y magnesio. El Centro Italiano de Investigaciones Aeroespaciales (CIRA) gestiona el Programa Nacional de Investigación Aeroespacial PRORA.

---

<sup>3</sup> Strategie Research Agenda.

**Cuadro 1: Gastos de financiación por sector institucional y por región (miles de euros)**

Región	Valor absoluto					Porcentaje %				
	Institución pública	Institución privada	Empresa	Universidad	Total	Institución pública	Institución privada	Empresa	Universidad	Total
Campania	146 593	38 853	480 499	557 403	1 233 348	5.8	6.1	4.7	9.6	6.4
Apulia	55 343	33 605	139 465	308 812	537 225	2.2	5.3	1.4	5.3	2.8
Calabria	15 862	92	15 051	121 619	152 624	0.6	0	0.1	2.1	0.8
Sicilia	72 432	60 52	201 462	446 248	726 194	2.9	1	2	7.7	3.8
Región Convergencia	290 230	78 602	836 477	1 434 082	2 639 391	11.5	12.4	8.2	24.7	13.8
Italia	2 524 587	634 262	10 238 132	5 811 971	19 208 952	100	100	100	100	100

Fuente: Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) (2011), *Ricerca e sviluppo in Italia*.**Cuadro 2: Empleados por sector institucional y regional (unidad expresada en equivalentes de tiempo completo)**

Región	Valor absoluto					Porcentaje %				
	Institución pública	Institución privada	Empresa	Universidad	Total	Institución pública	Institución privada	Empresa	Universidad	Total
Campania	2 424	425	4 411	7 037	14 297	7.2	5.3	4	9.4	6.3
Apulia	1 073	393	1 602	3 979	7 047	3.2	4.9	1.5	5.3	3.1
Calabria	280	3	237	1 338	1 857	0.8	0	0.2	1.8	0.8
Sicilia	1 219	99	1 94	5 392	8 65	3.6	1.2	1.8	7.2	3.8
Región Convergencia	4 996	920	8 189	17 747	31 852	14.8	11.4	7.5	23.7	14.0
Italia	33.54	8.027	109 768	74 949	226 285	100	100	100	100	100

Fuente: Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) (2011), *Ricerca e sviluppo in Italia*.

Las universidades que dictan cursos de grados y posgrado en ingeniería aeronáutica, ingeniería del espacio, transporte espacial, plataformas satelitales en órbita y en ingeniería de materiales, entre otras carreras, están distribuidas en todo el país.

En Italia el gasto en I+D no es equitativo entre regiones. En 2010 el norte del país contribuyó con 60%, el centro con 24% y el sur con las islas con 16%. Incrementar las oportunidades de trabajo e inversión en sectores de punta como el aeroespacial, con mucha innovación, en zonas menos desarrolladas, es una prioridad de las políticas públicas tanto nacionales como europeas para favorecer una mayor convergencia entre el norte y el sur (Pellegrini, 2013). En el cuadro 1 podemos observar cómo las regiones de la convergencia distribuyen sus gastos de financiamiento por sector institucional y por región, y en el cuadro 2 se refleja el número de empleados por sector institucional y regional.

Si bien todavía se refleja una gran disparidad, el esfuerzo de las políticas públicas es notable, y ya se pueden observar los resultados de la concentración de centros de excelencia en algunas regiones como Campania y Apulia. Asimismo la participación de los actores en el financiamiento de la I+D es plural, y destaca la fuerte contribución del sector privado conjuntamente con el Estado, y asociaciones público-privadas.

## **Distritos regionales y/o clúster aeroespacial**

La industria está distribuida territorialmente y organizada en clústeres o distritos regionales, cobijados en la asociación Cluster Tecnologico Nazionale Aerospaziale (CTNA). Debido al número de empresas involucradas, así como por el aporte y la importancia atribuida por las políticas públicas al sector en cada región, y el desarrollo de la investigación e innovación —con la participación de universidades y centros de investigación—, estos distritos asumen una importancia estratégica para la industria y la sociedad en general.

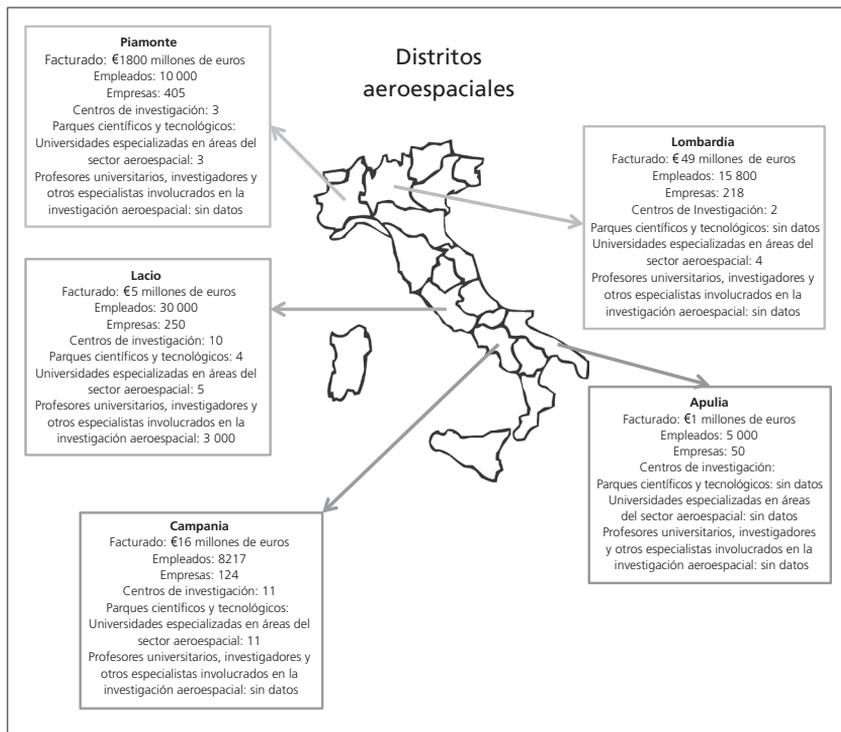
La industria aeroespacial se inserta territorialmente en la variedad de modelos que acompañan al desarrollo local en Italia, caracterizados por la *performance* productiva regional. Las grandes, medianas y pequeñas industrias tradicionalmente se han concentrado en regiones con larga

trayectoria económica en el ámbito de la manufactura (noreste de Italia), acumulando capacidades que fueron diferenciándose de otras regiones que siempre han dependido más de los estímulos de la política pública (el *mezzogiorno* italiano). Precisamente en estas últimas, y en particular para el área aeroespacial, se impulsan políticas públicas nacionales y europeas que buscan encontrar la convergencia científica técnica y territorial. En el marco de los Fondos para el Cambio Estructural (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, Fondo Social Europeo) y el Fondo de Cohesión, la Unión Europea (UE) se propuso la reducción de las asimetrías territoriales en términos de riqueza y bienestar, el aumento de la competitividad y de la ocupación, y mantener la cooperación transfronteriza. Estos fondos están dirigidos a los países miembros de la UE y las regiones en las cuales el producto interno bruto (PIB/habitante) es inferior a 75% de la media de la UE alargada (25 estados), garantizando una ayuda económica transitoria (*il phasing out*). Dichos fondos emplearon 37.5% del balance total de la UE (Reglamento CE 1083/2006). El Objetivo Convergencia se propone superar las asimetrías regionales a partir de acelerar y aumentar el desarrollo socioeconómico, mejorando las condiciones para el crecimiento y la ocupación, la calidad de la inversión en capital físico y humano; el desarrollo de la innovación y de la sociedad del conocimiento; la adaptación a los cambios económicos y sociales; la tutela y el mejoramiento de la calidad del ambiente, y garantizar la eficiencia administrativa. Las regiones que involucra esta política en Italia son Campania, Apulia, Calabria y Sicilia. Los actores beneficiados con tal política son la administración central, las regiones involucradas en el Objetivo Convergencia y la administración pública y sus dependencias y/o asociadas entre ellas.

En este contexto la industria aeroespacial cobra importancia en Campania y Apulia, en donde a partir del impulso de las políticas públicas se concentran centros de investigación y universidades especializadas en el sector.

En la gráfica 1 podemos observar la división de estos clústeres y/o distritos, y algunas de sus características. En cada uno de ellos las empresas convergen con universidades, centros de investigación, parques científicos y tecnológicos, conjuntamente con asociaciones público-privadas, para el desarrollo de programas estratégicos que dan cuenta del avance científico tecnológico del sector.

Gráfica 1. Características de los distritos aeroespaciales



Fuente: Elaboración propia. Información CTNA.

La importancia estratégica de la industria aeroespacial, las regiones en donde se desarrollan los procesos y los actores tanto públicos como privados que participan colocan a la convergencia científico-tecnológica y a la territorial en una situación que pone en juego otras cuestiones no profundizadas en este capítulo, pero que proponemos como futuras investigaciones sobre el sector. Se trata de los marcos normativos, por lo que las regulaciones institucionales deben sentar principios para proteger y promover el desarrollo del sector a través de políticas públicas que generen certezas para todos los actores y a largo plazo como política de Estado. Esto en el entendido de que, en general, las políticas vinculadas sobre todo con el sector espacial tienen que ver específicamente con las decisiones de políticas públicas para estimularla, y con impactos para mejorar el bienestar de la población.

## Los procesos de convergencia científico-tecnológica en Alenia Aeronáutica

La industria aeroespacial italiana ha evolucionado significativamente hasta alcanzar niveles y estándares internacionales tanto en procesos como en diseños y producción. Los cambios acaecidos en el mundo de la industria, y de este sector en particular, demandan actualmente mejorar la calidad de sus productos y servicios profesionales habilitados para responder a estas nuevas exigencias. En este sentido, y sobre todo en el aspecto de la convergencia científico-tecnológica, en este trabajo nos interesa mencionar la experiencia desarrollada por una de las empresas más dinámicas e innovadoras del sector, como Alenia Aeronáutica, y el desarrollo de un proyecto integral que se basa en una gestión técnica científico-multidisciplinaria orientada a la optimización de todo el sistema productivo. Como bien se describe en el trabajo de Marco Delpiano *et al.* (2014), en la aplicación del método “ingeniería concurrente”<sup>4</sup> (IC) participan grupos de trabajo interdisciplinarios, con un enfoque que permite la aplicación de tecnologías de la información en el desarrollo de productos aeronáuticos, en la gestión de diseños, procesos y fabricación, con el valor agregado de poder verificar con anticipación problemas que pueden presentarse en los prototipos y corregirlos antes de su lanzamiento (Digital Mock-Up). Cualquier modificación que se necesita aplicar se realiza en la fase de diseño, lo cual significa reducir costos y tiempo total del ciclo. Las “mejoras prácticas” se basan en la implementación de la gestión de procesos integrados que permiten llevar a cabo las actividades no solo como un aspecto específico de una disciplina (figura 1) sino de manera transversal y a través de un proceso multidisciplinario (figura 2) que permite una mejor visión e integración del producto.

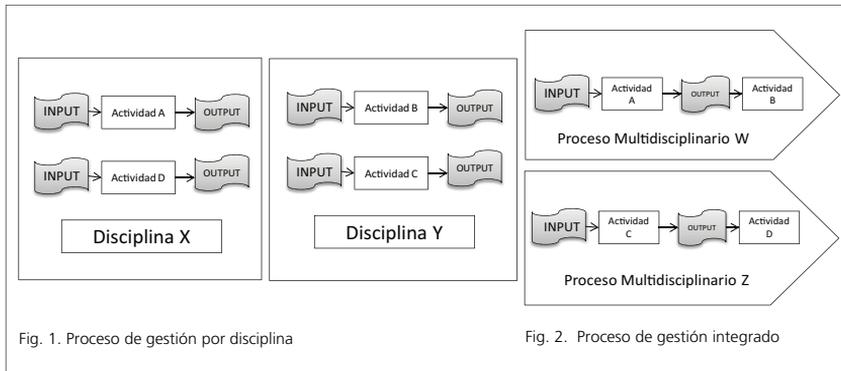
La herramienta específica utilizada por Alenia es el Producto Data Management (PDM), el cual asegura la integración de la información (funciones, controles, evolución a lo largo del ciclo de vida del producto, etc.). Esta herramienta permite la implementación y visualización de

---

<sup>4</sup> La ingeniería concurrente (IC) consiste en la coordinación e integración de las distintas actividades de desarrollo que surgen en una empresa al subdividir los complejos problemas de los procesos de diseño y fabricación de un nuevo producto.

los procesos en varios lugares donde Alenia Aeronáutica tiene sus sedes (Turín es la sede central donde se almacena la información para el programa Eurofighter Typhoon, la cual es consultada por los usuarios a través de una réplica de datos CAD, utilizando los mismos programas en cada lugar directamente a través de la WAN. Por ejemplo, en Pomigliano para el Programa A380 y en Foggia para otro programa. El enfoque se conoce como PDM Alenia Multi-Site.

**Figuras 1 y 2. Gestión de procesos**



Fuente: Delpiano *et al.* (2014).

Esta breve descripción del enfoque PDM evidencia el trabajo dentro de una empresa aeroespacial en torno a la convergencia científico-tecnológica.

## Departamento de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial del Politécnico de Turín, Italia

El Dimeas es uno de los once departamentos del Politécnico<sup>5</sup> de Turín. Cubre un amplio espectro de áreas relacionadas con los requerimientos de una sociedad industrial avanzada, con actividades que van desde la mecánica tradicional hasta los dominios de las zonas fronterizas de

<sup>5</sup> La planta académica la conforman ochocientos investigadores que atienden a 32 200 alumnos.

la mecánica y lo aeroespacial. En ese centro se lleva a cabo investigación básica y aplicada, capacitación de recursos humanos, transferencia de tecnología y servicios para el territorio relacionados con los ámbitos de la automatización, la aeronáutica, ferroviario, textiles, procesamiento de alimentos e instalación de procesos industriales específicos, hasta el campo de la investigación relacionada con el espacio, la ingeniería de sistemas, nuevos materiales, micro y nanotecnología, mecatrónica, vehículos y aeronaves de bajo impacto ambiental y la bioingeniería.

Las actividades desarrolladas por los diversos departamentos del Politécnico se vinculan entre sí alrededor de distintos proyectos que van generando estrategias de construcción de plataformas transdisciplinarias. En la gráfica 2 se observan los distintos departamentos del Ateneo que se vinculan con el Dimeas. Por lo general son grupos interdisciplinarios, de acuerdo con la complejidad y el tamaño del proyecto. Involucra a investigadores, maestros y estudiantes, donde se conjugan distintas perspectivas de análisis, produciendo un nuevo paradigma para enfrentar desafíos planteados por la convergencia del conocimiento.

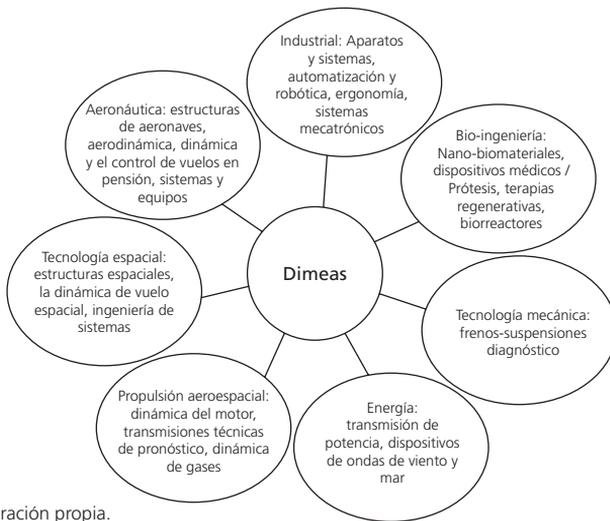
**Gráfica 2. Departamentos del Politécnico de Turín, Italia**



Fuente: Elaboración propia.

El Dimeas es el departamento más grande del Politécnico, cuenta con 340 integrantes, de los cuales 86 son profesores-investigadores de planta, 35 técnicos administrativos, y el resto son jóvenes investigadores doctorados que realizan estancias *post laurea* magistral con becas. El dinamismo del sector aeroespacial requiere instrumentos de análisis y monitoreo cada vez más sofisticados, con capacidad de interpretar las complejas y nuevas tendencias. En la gráfica 3 se muestran estas plataformas multidisciplinares.

Gráfica 3. Plataformas multidisciplinares del Dimeas



Fuente: Elaboración propia.

A través de los distintos campos de competencias que convergen en el Dimeas se definen nuevas metodologías de análisis, se identifican procesos, se realizan actividades de modelado y simulación de comportamiento de las estructuras, de los campos de dinámica de fluidos, de dispositivos y sistemas, se definen métodos innovadores para pruebas experimentales, conducción, comparación, predicción, todo enmarcado en una visión transdisciplinaria de convergencia (gráfica 4).

A partir de que todas estas líneas y campos de investigación están interconectados, se muestra la importancia que se le atribuyó en el centro a la necesidad de reforzar los programas de estudio (tanto de las licenciaturas como de los estudios de posgrado) interdisciplinarios, donde grupos

de científicos con metodologías de diverso origen técnico-científico han trabajado para modificar los contenidos de cada materia.<sup>6</sup> En este sentido, el Dimeas atribuye a la labor docente una gran importancia y busca la continuación de estudios y la participación de los alumnos en los grupos de investigación, así como prácticas y pasantías en empresas del distrito. El desarrollo de conocimientos y transferencia se evidencia en el incremento en el número de alumnos, innovación con nuevos productos y procesos, patentes, concursos nacionales e internacionales en los cuales participan tanto los alumnos como los grupos de investigadores.

Gráfica 4. Áreas de actividades del Dimeas



Fuente: Elaboración propia con base en EU (2009).

Toda la actividad del centro depende en su mayoría de ingresos que provienen del financiamiento público básico para atender las obligaciones docentes de la enseñanza superior. Otra categoría de ingresos proviene del financiamiento público, nacional y europeo (por ejemplo de la ASI y de la ESA-ESRIN),<sup>7</sup> y de vinculación con otras universidades extran-

<sup>6</sup> Para consultar planes de estudio, véase <www.polito.it>.

<sup>7</sup> El 95% de los recursos provienen por lo general del autofinanciamiento de proyectos de investigación (MIUR, UE, región Piamonte, CNR, ASI, ESA) y financiamiento industrial, y 5% de financiamiento público (del Politécnico al Dimeas).

teras (sobre todo de los Estados Unidos de América, Japón y la UE), para llevar a cabo la actividad de investigación. Una tercera vía de financiamiento se logra por medio de una variedad de fuentes que tienen que ver con la perspectiva proactiva de la universidad y del Dimeas, en particular para llevar a cabo acciones de desarrollo tecnológico, asistencia técnica, programas de formación continua, contratos de investigación con corporaciones, empresas, clientes privados y gubernamentales, asociaciones público-privadas, etc. En este sentido, el Dimeas es un interlocutor importante en la investigación y transferencia de tecnología para los socios industriales e instituciones, con los sectores productivos y sociales, concertados en alianzas público-privadas de relevante interés para la realización de proyectos, buscando mejorar la conexión entre investigación y aplicaciones con un fuerte acento en la aplicación y demostración.

Acerca de los procesos de evaluación de sus resultados, y sobre todo de la actividad de los grupos interdisciplinarios alrededor de alguna actividad de investigación concreta, se ha suplido la carencia de instrumentos metodológicos alternativos con las evaluaciones ya conocidas en el ámbito universitario (individuales, de productividad, etc.) que permitan captar los procesos de colaboración y fundamentar las bases para definir mejor la convergencia científico-tecnológica. La UE, orientada a la construcción de la “la Europa del conocimiento 2020”, formuló y desarrolló en algunos documentos<sup>8</sup> la nueva estrategia para definir las bases de la llamada “tercera misión”<sup>9</sup> de la universidad, en su visión de agente de transferencia del conocimiento. Esta “tercera misión” implica profundizar los parámetros del concepto de universidad emprendedora (Clark, 1998), basada en el proceso de la comercialización tecnológica de los recursos universitarios (Etzkowitz *et al.*, 2000; Schulte, 2004), y otorgarle a la universidad la perspectiva social de su extensión y compromiso comunitario, es decir, relacionada con las necesidades sociales de entorno, tanto locales como regionales. Sin embargo, no encontramos especificidades en cuanto a indicadores o metodologías que faciliten la evaluación

---

<sup>8</sup> Véanse los documentos de la Comisión Europea 1995-2006.

<sup>9</sup> A las funciones tradicionales de la universidad, primera misión: la enseñanza y formación superior; segunda misión: la investigación, se agrega como tercera misión el desarrollo de tres ejes vertebradores: emprendimiento, innovación y compromiso social.

de los procesos de creación de base tecnológica o *spin-offs* universitarios, antes de llegar a los productos o patentes.

Esto conllevaría asimismo necesariamente reformas en las políticas, legislación y prácticas, porque hasta el momento la convergencia científico-tecnológica no cuenta con los contenidos necesarios para conocer su nueva función tecnocientífica y su impacto, ya sea en el crecimiento, el desarrollo y el bienestar de la sociedad. Por otra parte, específicamente el sector aeroespacial necesita la definición de instrumentos de análisis y monitoreo cada vez más sofisticados, con capacidad de interpretar las complejas nuevas tendencias.

## Reflexiones finales

En este trabajo hemos presentado una panorámica de la industria aeroespacial en Italia (datos económicos, tejido empresarial, distribución territorial, empleo, producción y la internacionalización de las empresas). Se reseñaron las actividades del sector público en apoyo a la industria aeroespacial. Se complementó con la descripción de un proceso de producción dentro de una empresa del sector y el análisis realizado a un centro público de investigación (Dimeas, del Politécnico de Turín, Italia), con datos referidos a su organización y actividad de innovación alrededor de la convergencia científico-tecnológica de plataformas transdisciplinarias cuyos trabajos demuestran una convergencia científico-tecnológica, procesos de innovación, transferencia tecnológica y vinculación con el sector público y privado.

De acuerdo con los interrogantes propuestos, surge de manera más o menos generalizada la importancia del sector aeroespacial en Italia por el dinamismo científico-tecnológico y económico, por su contribución a la innovación, el crecimiento en las regiones donde están ubicadas las empresas del sector, tanto nacionales como internacionales, la inserción internacional, los trabajos de investigación y la producción conjunta con otros países, sobre todo europeos, generadora de empleos de calidad. Sus fortalezas le otorgan la posibilidad de convertirse en un nicho de desarrollo para el país con un dinamismo relevante. Se trata de un sector, como hemos observado a lo largo del capítulo, liderado por pocas grandes empresas nacionales y transnacionales y un conglomerado de medianas y

pequeñas empresas que conforman cadenas de valor sustentadas en una red productiva, con fuertes vínculos con el gobierno y el sector científico.

Se le considera un sector privilegiado por las políticas públicas, tanto nacionales como europeas, sobre todo en aspectos que tienen que ver con la convergencia territorial para regiones emergentes y con ciertos déficits en crecimiento y ocupación. La expansión de la industria aeroespacial en regiones con tradicional dinamismo económico, igual que en otras regiones emergentes, es un importante motor de desarrollo regional y para el país en su conjunto. Ello nos permite definir al sector con un fuerte impulso también hacia la convergencia territorial. En estas áreas de la convergencia disminuye la importancia porcentual de las empresas (por número y facturado) y aumenta notablemente el gasto público en universidades e instituciones públicas.

En el ámbito de la formación y la investigación, grupos de investigadores y alumnos se organizan transdisciplinariamente para responder a los cambios productivos y tecnológicos del sector por medio de la convergencia entre plataformas multidisciplinares digitales y técnicas, alrededor de proyectos concretos, muchos de ellos por demanda de las propias empresas del sector, dando lugar a nuevos paradigmas disciplinares en donde los grupos de investigación concertados con otros actores conforman un sector poco visibilizado, al menos para su evaluación desde esta nueva tendencia que nos permita analizar los grupos transdisciplinares y su nueva producción. La función de las universidades, repartidas en todo el territorio nacional, está lo suficientemente bien coordinada con las necesidades de los distritos y del sector.

Las empresas del sector, como Alenia Aeronáutica, están imbuidas en fuertes procesos de innovación mediante la aplicación de enfoques multidisciplinares y trabajos en red que involucran a otros usuarios y potencializan su producción.

La competencia y convergencia científico-tecnológica del Dimeas radica en la capacidad de los grupos transdisciplinares de investigación para asimilar y transferir esos procesos de colaboración entre universidad, sector público y privado y asociaciones público-privadas en productos y procesos. A pesar de los avances logrados y del camino que ya ha recorrido como centro innovador para el sector aeroespacial, faltan aspectos regulatorios y evaluaciones de procesos que tienen registros de patentes y transferencia tecnológica sobre esta nueva configuración científica

y tecnológica que den cuenta de la producción grupal transdisciplinaria. En ese sentido se deberá trabajar en la identificación de las dimensiones posibles para poder generar instrumentos que permitan medir la innovación, organización, procesos e impacto de estos grupos de investigación en el sector aeroespacial con incidencia en la sociedad.

En el marco de la revolución tecnológica, la convergencia constituye un nuevo gran paradigma no solo científico-tecnológico sino también territorial, pues de manera transversal influye profundamente en un amplio espectro de sectores y actividades económicas y en la sociedad en sus múltiples aspectos.

Asimismo, la convergencia científico-tecnológica *per se* no puede ser el argumento que desdibuje otros aspectos, por ejemplo la discusión en torno a la convergencia institucional, la cual nos permitiría en futuras investigaciones dilucidar la *governance* que se genera en estos nuevos paradigmas. En este sentido consideramos, desde las ciencias sociales, que hay todavía muchos desafíos y cuestiones por resolver, tanto teórica como metodológicamente. La carencia de trabajos de investigación sistematizados, con estrategias metodológicas para el estudio de las disciplinas y tecnologías convergentes en la industria aeroespacial que den cuenta sobre estos nuevos grupos de investigación, aún condiciona los estudios de nuevos paradigmas disciplinares y sus herramientas de análisis.

## Referencias

- ACARE. Advisory Council for Aeronautics Research in Europe. Disponible en <[http://www.aiad.it/it/attivita\\_perm\\_acare.wp](http://www.aiad.it/it/attivita_perm_acare.wp)>, consultado el 22 julio de 2015.
- AIAD. Aziende Italiane per l'Aerospazio, la Difesa e la Sicurezza. Disponible en <<http://www.aiad.it/>>, consultado el 20 de julio de 2015.
- AIDAA. Associazione Italiana di Aeronautica e Astronautica. Disponible en <<http://www.aidaa.it/>>, consultado el 21 de julio de 2015.
- ASI. Agenzia Spaziale Italiana. Disponible en <<http://www.asi.it/>>, consultado el 20 de julio de 2015.

- Casalet Ravenna, Mónica (2016). *Nueva institucionalidad para la innovación en América Latina: Efectos de la manufactura avanzada*, CEPAL-Chile, en prensa, 2014.
- Clark, Burton R. (1998). *Creating Entrepreneurial Universities: Organisational Pathways of Transformation*, París, Oxford, International Association of Universities/Elsevier Science.
- Comisión Europea (2006). "Putting Knowledge into Practice. Abroad Based Innovation Strategy for the E.U.", *European Innovation*, número especial, noviembre.
- Comisión Europea (2005a). *Responsible Partnering-Joining Forces in a World of Open Innovation. A Guide to Better Practices for Collaborative Research and Knowledge Transfer Between Science and Industry*, Bruselas, European Commission.
- Comisión Europea (2005b). "El triángulo de la sociedad del conocimiento en Europa", Comunicación, 6 de abril, Bruselas, European Commission.
- Comisión Europea (2004). *The Europe of Knowledge 2020: A Vision for University Based Research and Innovation*, DG. For Science & Society, Lieja, European Commission.
- Comisión Europea (2003). "The Role of Universities in the Europe of Knowledge", *Comunicación* 58, 5 de febrero, Bruselas, European Commission.
- Comisión Europea (2000). *Innovation in a Knowledge-driven Economy*, DG. Enterprise & Industry, Bruselas, European Commission.
- Comisión Europea (1995). *White Paper on Education and Training. Teaching and Learning. Towards the Learning Society*, Bruselas, European Commission.
- CTNA. Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio. Disponible en <<http://www.ctna.it/>>, consultado el 15 octubre de 2015.
- Delpiano, Marco, Marco Fabri, Claudia Garda y Elena Valfre (2014). "Virtual Development and Integration of Advanced Aerospace Systems. Alenia Aeronautics Experience", ADP014152, Paper Sistemas Experiencias Alenia Aeronáutica, Turín.
- Dimeas. Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale. Politecnico di Torino. Disponible en <<http://www.dimeas.polito.it/>>, consultado el 8 julio de 2015.
- Distretto Aerospaziale Campagna. Disponible en <<http://www.daccampagna.com/>>, consultado el 11 de septiembre de 2015.
- Distretto Aerospaziale Lazio. Disponible en <<http://www.lazio-aerospazio.it/>>, consultado el 11 de septiembre de 2015.

- Distretto Aerospaziale Lombardo. Disponible en <[http://www.aerospace.lombardia.it/aerospace/cms2.nsf/fe\\_home\\_new?Readform](http://www.aerospace.lombardia.it/aerospace/cms2.nsf/fe_home_new?Readform)>, consultado el 11 de septiembre de 2015.
- Distretto Aerospaziale Piemonte. Disponible en <<http://www.regione.piemonte.it/innovazione/ricerca/attivita-e-progetti/evoluzione-della-struttura-produttiva/piattaforma-aerospazio/il-comitato-promotore-distretto-aerospaziale.html>>, consultado el 11 de septiembre de 2015.
- Distretto Aerospaziale Pugliese. Disponible en <<http://www.apulianaerospa.ce.eu/>>, consultado el 11 de septiembre de 2015.
- ESA. European Space Agency. Disponible en <<http://www.esa.int/ESA>>, consultado el 20 de julio de 2015.
- Etzkowitz, Henry, Andrew Webster, Christiane Gebhardt y Branca Regina Cantisano Terra (2000). "The Future of the University and the University of the Future: Evolution of Ivory Tower to Entrepreneurial Paradigm", *Research Policy*, vol. 29, núm. 2, pp. 313-330.
- ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) (2011). *Ricerca e Sviluppo*. Disponible en <<http://www.istat.it/it/>>, consultado el 5 de septiembre de 2015.
- MIUR. Ministero dell' Istruzione dell' Università e della Ricerca. Disponible en <<http://www.istruzione.it/>>, consultado el julio de 2015.
- Osservatorio Università-Impresa. Osservatorio della Fondazione CRUI per el Dialogo e la Cooperazione, Milán, Fundación CRUI. Disponible en <<http://www.universitaimprese.it/>>, consultado el 30 de agosto de 2015.
- Pellegrini, Guido (2013). *Relazione del gruppo degli esperti sull' evoluzione di alcune aree tecnologiche nelle regione della convergenza*, Roma, Università di Roma La Sapienza.
- POLI. Disponible en <<http://www.polito.it/>>, consultado el 5 julio de 2015.
- ResearchItaly. Disponible en <[www.researchitaly.it](http://www.researchitaly.it)>, consultado el 19 septiembre de 2015.
- Roco, Mihail C., Bainbridge William S., Bruce Tonn y George Whitesides (2013). *Convergence of Knowledge, Technology and Society: Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Estados Unidos de América, WTEC-ITRI.
- Schulte, Peter (2004). "The Entrepreneurial University: A Strategy for Institutional Development", *Higher Education in Europe*, vol. 28, núm. 4, pp. 187-192.

Sinatra, Alessandro, Ricardo De Vita, Fernando Alberti y Salvatore Sciascia (2008). "I processi di innovazione nel sistema aérospaziale lombardo", Papers núm. 216, Serie Piccola e Media Impresa, Milán.

Tercera parte  
**Epistemología de la tecnología**



## X. Epistemología de la tecnología\*

*Nydia Lara Zavala\**

### Introducción

**E**n la actualidad hay muchos gobiernos que tienen un gran interés por encontrar los mecanismos que aseguren la constante innovación tecnológica. Se preguntan cómo orientar el trabajo inter y transdisciplinario para promover investigaciones donde converjan la ciencia, la tecnología y la industria para generar nuevos e innovadores productos con menores costos y con mayores beneficios económicos. Pero siguiendo los dictados de la concepción tradicional que sostiene que la tecnología es ciencia aplicada, se ha propiciado que el enfoque más generalizado para incentivar la innovación tecnológica consista en invertir mucho dinero en temas y problemas de ciencias básicas con la esperanza de que más tarde o más temprano sus resultados se logren traducir en ciencia aplicada, esto es, en tecnología.

Sin embargo, la falta de claridad conceptual en torno a los mecanismos propios del desarrollo del conocimiento científico y la carencia de una correcta concepción de cómo incentivar la innovación tecnológica, propicia que muchos gobiernos, como el de México por ejemplo, quieran ponerse a la vanguardia del conocimiento científico importando tanto los problemas de investigación en boga, como toda la tecnología que se requiere para intentar resolverlos. Pero una política de importación de problemas

---

\* Investigación realizada gracias al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT clave IN403317. Epistemología de la tecnología y el desarrollo del conocimiento científico.

\*\* Doctora en Investigación Biomédica Básica por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM.

y fundamentalmente de la tecnología que se requiere para resolverlos no solo eleva enormemente los costos de la investigación científica, sino que normalmente no logra la obtención de los resultados esperados. Esto propicia que gobiernos como el nuestro constantemente se pregunten si realmente la inversión vale la pena. Y la respuesta es: no como lo estamos haciendo.

El error de muchos gobiernos para promover la convergencia entre científicos, tecnólogos e industriales para encaminar su interacción hacia la innovación de productos y conocimiento, a nuestro juicio, surge por su tendencia a establecer una relación jerárquica entre la ciencia y la tecnología. Se acepta, prácticamente sin cuestionar, que el conocimiento es monopolio de la ciencia y se ha ignorado por completo el papel epistemológico de la tecnología. Pero esta omisión genera un grave problema de orden conceptual, pues al quitarle todo valor cognitivo a la tecnología, a la hora de tratar de dar cuenta de la indiscutible relación que guarda con la ciencia resulta que no queda claro cuál es el papel que se le debe asignar a la tecnología para que tenga algo que ver con el conocimiento científico. La estrategia más difundida hasta la fecha para tratar de conectar a la ciencia con la tecnología ha consistido en asumir que esta última debe ser entendida como un producto derivado del conocimiento científico. Pero esta "solución", en lugar de acabar con el problema, abre otros más graves, pues, por un lado, queda en un profundo misterio entender cómo una teoría científica de pronto puede ser utilizada por la industria para convertirse, digamos, en una pantalla de televisión que luego podemos comprar en una tienda y, por el otro, desorienta enormemente a las políticas científico-tecnológicas que se encargan de promoverlas, sostenerlas y financiarlas.

Lo que no se está considerando es que la tecnología que emplea la ciencia no es pasiva. Ella es capaz de producir lo que nosotros vamos a denominar "efectos tecnológicos", mismos que fácilmente se confunden y se interpretan como fenómenos naturales cuando en realidad no lo son. La razón de esta confusión pensamos que se puede deber al hecho de que una vez que se aprende a producir un efecto tecnológico, el fenómeno que se provoca es perfectamente observable y reiteradamente reproducible, por lo que no se duda en integrar su interpretación al corpus de nuestras explicaciones del mundo natural.

Ahora bien, si se analizan cuidadosamente las repercusiones de integrar un efecto tecnológico a nuestras explicaciones del mundo natural, es

posible darse cuenta de que esta confusión no es inocua, ya que, como lo trataremos de argumentar a continuación, por falta de claridad conceptual se ha tendido a ignorar la enorme importancia del papel epistemológico que tiene la tecnología en la obtención del conocimiento científico y, por lo mismo, a no entender bien cómo interactúan la ciencia y la tecnología y mucho menos darse cuenta que son, de hecho, los efectos tecnológicos los que muchas veces se utilizan para gestar tanto innovaciones tecnológicas como novedosas teorías científicas.

El objetivo de este trabajo es ilustrar, por medio de dos ejemplos históricos, cómo convergen la ciencia, la tecnología y la industria a través de los efectos tecnológicos que produce la tecnología. Pero antes vale la pena definir con mayor claridad qué es lo que entendemos como efecto tecnológico.

### **Efecto tecnológico**

Llamaremos “efecto tecnológico” a los fenómenos provocados por arreglos o configuraciones tecnológicas. Estos efectos tienen la peculiaridad de que son fenómenos objetivos, observables, altamente predecibles y reiteradamente reproducibles por el arreglo tecnológico. Sin embargo, se debe conceder que el arreglo tecnológico que produce es una creación humana, por lo que se puede afirmar que, aunque muchas veces ese efecto se confunde o se trata como si fuera un fenómeno natural, propiamente hablando ninguno lo es. Esta idea no es nueva, Niels Bohr, por ejemplo, en sus estudios sobre la estructura atómica de la luz ya se había percatado de que dos distintos arreglos tecnológicos producían diferentes efectos tecnológicos. Con un arreglo tecnológico se observaba un comportamiento de onda y con el otro uno de partícula, donde cada comportamiento mostraba propiedades mutuamente excluyentes para la física clásica. Esto lo lleva a sospechar que hay arreglos tecnológicos que crean fenómenos que no ocurren en la naturaleza sin ellos. Empero, parece que Bohr nunca acaba de desarrollar las consecuencias ontológicas y epistemológicas que esta reflexión encierra. Quizá porque la misma aceptación de que en la ciencia se incluyen efectos tecnológicos como elementos explicativos de la realidad, irremediablemente cuestiona la idea de que los enunciados científicos se limiten a ser una mera descripción del mundo

que nos rodea y de lo que existe en él. La idea, avanzada en más de un sentido por Ian Hacking, de que el científico con sus arreglos tecnológicos crea una realidad que, por las características de sus efectos se convierte en controlable y predecible, esto puede no gustarle a muchos, pero entenderlo así nos empieza a explicar que para comprender cabalmente cómo opera y se constituye el conocimiento científico, es indispensable considerar el papel activo, epistémico y ontológico que juega la tecnología en la formulación de sus teorías e hipótesis. Por eso es importante reconocer que los aparatos e instrumentos que utiliza la ciencia no solo sirven para medir u observar objetos y fenómenos naturales nunca antes vistos, como los alcanzados por los telescopios y los microscopios, sino que también sirven para provocar fenómenos novedosos que sin mayor reflexión se asumen como descubrimientos científicos. Parafraseando a Hacking, podemos decir que cuando menos una parte de la tecnología que emplea el científico en la realización de sus experimentos es la que muchas veces le permite “crear, producir, refinar y estabilizar” los fenómenos que estudia la ciencia. Muchos de estos fenómenos, como lo mencionamos arriba, por las características intrínsecas de los efectos tecnológicos, son públicos, objetivos, regulares, repetibles, manipulables y predecibles, por lo que de ellos se extraen tanto innovaciones tecnológicas que se aplican fuera del contexto del laboratorio, como muchas de las leyes “naturales” que conforman nuestras teorías científicas.

De hecho, la tecnología puede jugar un doble papel en los avances científicos. Hay ocasiones en donde la teoría es la que guía el efecto tecnológico que se desea obtener, pero, como bien lo detecta Davis Baird, también hay ocasiones en donde es el efecto tecnológico el que sirve de apoyo y fundamento para crear una nueva teoría científica. Los dos casos son interesantes para entender cómo convergen los intereses de la ciencia y la tecnología y cómo se conectan sus resultados para poder ser la fuente de innovaciones tecnológicas. Por su importancia vale la pena explorar cada uno de ellos por separado.

## Teoría científica y efecto tecnológico

Es común que una teoría científica guíe el arreglo tecnológico para producir un efecto tecnológico *ad hoc*, mismo que es interpretado por el

científico como el dato empírico que confirma lo que postula su teoría. Estos casos abundan en la ciencia, pero lo que es muy difícil de discernir es si lo que detecta el científico a través del arreglo tecnológico es una entidad que pertenece a la naturaleza o es un producto de la tecnología que emplea. El punto es que, en muchos casos, lo que se interpreta como un dato que confirma una hipótesis científica puede ser un efecto tecnológico creado para generar lo que la teoría busca comprobar como existente. Sin embargo, siempre cabe la pregunta en torno a si el efecto detectado por la tecnología efectivamente es la comprobación de lo que la teoría presupone como existente o si es la creación del efecto que el arreglo tecnológico produce con la intención de provocar lo que la teoría supone como existente. Lo que es un hecho es que el desarrollo tecnológico guiado por la teoría científica opera, para decirlo de alguna manera, bajo pedido, por lo que el desarrollador de la tecnología tiene que saber previamente qué función se espera que haga su aparato para generar el efecto deseado por el científico. El hecho es que por la manera como se conjugan los intereses teóricos con los tecnológicos, no nos parece obvio suponer que si el científico obtiene el resultado de lo que su teoría predice sea un argumento contundente para dirimir la cuestión de si el científico efectivamente descubre la existencia de aquello que postula su teoría o si crea el efecto tecnológico adecuado para confirmar lo que esperaba obtener con el auxilio de la tecnología que emplea. Hacking, que aparentemente se inclina por la primera opción, opina que si el arreglo tecnológico manifiesta lo que la teoría espera que se produzca, parece que no hay razones para cuestionar que se está descubriendo el fenómeno que la teoría predice. Sin embargo, poco después él mismo agrega: “El aparato fue hecho por el hombre. Se crearon las invenciones. Pero tendemos a sentir que los fenómenos revelados en el laboratorio son parte de la obra de Dios, a la espera de ser descubiertos”.

Lo cierto es que Hacking a lo largo y ancho de su obra nunca deja muy clara su postura en torno a si la ciencia descubre o crea las entidades que postulan sus teorías, quizá porque esta cuestión nunca la podremos contestar satisfactoriamente. La razón es que no es ni medianamente obvio decidir cuándo un arreglo tecnológico detecta lo que el científico espera que se descubra en la naturaleza o cuándo el efecto tecnológico crea lo que el científico le pide al tecnólogo que se produzca artificialmente para comprobar su teoría. Lo que sí es un hecho es que los arreglos tec-

nológicos que actualmente emplea el científico para generar los efectos tecnológicos que desea obtener de ellos, por sus propias características, no solo se vuelven el fundamento de la ciencia sino que las más de las veces son ellos mismos los que posteriormente sirven de base y motor de las innovaciones tecnológicas que llegan a nuestras casas. Esto es así, porque bien analizado no es propiamente el discurso científico, sino los efectos tecnológicos que se producen, lo que en última instancia permite la transformación, manipulación, control y predicción que se puede ejercer en el mundo y que afecta sustancialmente la manera de producir la tecnología que tanto impacta el desarrollo de nuestra vida cotidiana. Usemos como ejemplo el experimento del descubrimiento de los electrones para ilustrar este punto.

Durante el siglo XIX el mundo científico cada vez ponía menor resistencia para aceptar la teoría atómica que sostenía que todo el universo estaba constituido por la combinación de pequeñas partículas denominadas “átomos”. Dalton, quizá por la influencia de Demócrito y Leucipo, había aventurado la idea de que esos átomos eran partículas sólidas e indivisibles, semejantes a diminutas bolas de billar. Sin embargo, muchos se preguntaban si los átomos efectivamente se deberían concebir como partículas sólidas e indivisibles o si ellos estaban constituidos por otras partículas más pequeñas que podían dar cabida a combinaciones más variadas y sutiles. En 1897 J.J. Thomson desarrolló un arreglo tecnológico para tratar de averiguar si en los átomos era posible detectar partículas subatómicas más pequeñas. Así surgió el dispositivo denominado “tubo de rayos catódicos”, que consiste en un cilindro de cristal en forma de botella sellado y al que se le extrae el aire. Este contiene en la parte más delgada de su interior dos círculos de metal puestos uno frente al otro. El primero es completo y el otro tiene forma de rondana, esto es, en su centro tiene un orificio. Los dos círculos de metal están alambrados para conectarse a una fuente de energía eléctrica por fuera. El círculo de metal completo está conectado a un polo negativo y la rondana, a uno positivo. Cuando Thomson encendió la fuente de energía lo que observó fue que del círculo de metal completo se emitía un rayo en línea recta que atravesaba la rondana y provocaba una luminosidad en línea recta que llegaba hasta el otro extremo del tubo exactamente en el centro. A este efecto tecnológico lo denominaron “rayo catódico” por proceder del metal conectado al polo negativo de la fuente de energía. La pregunta inmediata

que se planteó Thomson fue si ese rayo tenía o no alguna clase de carga eléctrica. Esta pregunta era relevante porque en principio se aceptaba que todos los átomos eran neutros, es decir, que no tenían carga eléctrica. Ahora bien, como Thomson sabía de antemano que polos opuestos se atraen y polos iguales se repelen, para contestar esta pregunta decidió colocar arriba y abajo dos placas de metal a la mitad del tubo, mismas que conectó a otra fuente de energía de tal forma que la placa de arriba quedaba en el polo positivo y la de abajo en el negativo. Cuando encendió las dos fuentes de energía lo que observó fue que cuando el rayo pasaba por las dos placas de metal recién agregadas hacía una curva hacia la que estaba cargada al polo positivo, por lo que la luminosidad ahora quedaba hacia arriba del centro del tubo.

Recordemos que la teoría que guía el experimento de Thomson parte del supuesto de que todo el universo está hecho de diminutas partículas, y lo que él quería averiguar era si los átomos que conforman el universo eran sólidos e indivisibles o si estaban compuestos de otras partículas subatómicas. Él, por tanto, asumió que los dos círculos de metal estaban compuestos de átomos y que cuando aplicó la descarga eléctrica que produce el rayo catódico en su dispositivo, lo que supuso que estaba viendo en el haz de luz era la ruptura de un componente del átomo con carga negativa, puesto que cuando el rayo pasaba por la placa de metal con carga positiva, el rayo se desviaba hacia ella. Para confirmar este resultado, Thomson sustituyó las placas de metal por un imán y lo que observó fue que al manipularlo, el rayo catódico siempre se desviaba hacia el polo positivo del imán, lo cual confirmó su hipótesis de que los rayos catódicos contienen una carga negativa. Pero de ahí infirió que lo que compone al rayo catódico y que claramente tiene una carga negativa tenía que ser una partícula mucho más pequeña que los átomos. A esas partículas subatómicas, cuya existencia se infiere del comportamiento de los rayos catódicos, se les llama “electrones”, y a Thomson se le adjudica la paternidad de su “descubrimiento”.

Lo que hay que recalcar es que ni Thomson ni los que han repetido exitosamente el experimento del tubo de rayos catódicos con muy distintos metales ven electrones. Lo que siempre se ve son los rayos catódicos creados como efectos tecnológicos con los dispositivos que se utilizan. Sin embargo, una vez que se asume la interpretación del científico, parece que ya no hay reparo en aceptar que lo que se ve y se manipula en

los experimentos son efectivamente electrones y no rayos catódicos. Este movimiento hacia la teoría propicia dos cosas que son dignas de llamar la atención: la primera es que se diluye totalmente la diferencia entre lo que efectivamente se ve de lo que se interpreta que se ve. La segunda es que el efecto tecnológico, como tal, se vuelve completamente transparente, es decir, queda relegado a un segundo plano carente de relevancia, por lo que todo el peso del conocimiento se le da a lo que interpreta el científico como descubrimiento.

Ahora bien, no cabe la menor duda de que Thomson diseñó un arreglo tecnológico con la clara intención de buscar partículas subatómicas. Thomson produjo con él los rayos catódicos, pero infirió que había comprobado la hipótesis de que los átomos contenían electrones. Si lo comprobó o no es otra historia que no vamos a discutir en este trabajo, pero lo interesante del caso es que, pese a su transparencia, fue la producción de ese efecto tecnológico lo que tuvo interesantes consecuencias no solo porque a partir de él se ha enriquecido enormemente la teoría atómica, sino porque fue ese efecto tecnológico lo que en su momento sirvió para producir nueva tecnología, como las pantallas de las televisiones o los monitores de las computadoras. Por estas y otras muchas consecuencias tanto teóricas como tecnológicas, Hacking y posiblemente muchos otros están dispuestos a aceptar la existencia de los electrones. Después de todo, es al filósofo al que le preocupa averiguar el estatus ontológico que les debemos otorgar a las entidades teóricas. Si efectivamente existen o no los electrones, es una cuestión que sin duda se puede discutir eternamente. Por eso es un problema filosófico y quizá también por eso es el punto que más se le discute a Hacking. Pero aquí hay inmersos dos temas que apenas están empezando a acaparar la atención del filósofo: el primero es la importancia de reconocer el papel epistemológico de la tecnología y, el segundo, que sin la tecnología que produce efectos tecnológicos, la ciencia no podría tener el impacto que actualmente tiene en la sociedad. Bien entendido, el mensaje importante que realmente se debe extraer de Hacking no es su realismo de entidades tan ampliamente discutido en la literatura filosófica, sino la lección de que es un craso error concebir a la tecnología como un mero subproducto del conocimiento científico, donde está implícita la asunción de que la tecnología no aporta ninguna clase relevante de conocimiento o cuando menos ninguna que sea digna de consideración de parte de los filósofos. El punto que que-

remos resaltar por lo pronto es que la tecnología, de hecho, es la herramienta que permite pasar de la mera especulación a la comprobación de teorías e hipótesis científicas. A su vez, son los efectos tecnológicos los que realmente trascienden los intereses del científico y los que impactan a la sociedad generando sorprendentes y vertiginosas aplicaciones que la mayoría de las veces no fueron contempladas por los mismos científicos que promovieron e inspiraron la construcción de sus arreglos tecnológicos para comprobar sus postulados teóricos.

Si se entiende lo que hasta aquí se ha dicho, se debe reconocer que las teorías tienden a postular en sus discursos la existencia de infinidad de entidades. En el camino muchas de ellas se abandonan y quedan en el olvido, pero las que perduran normalmente lo logran gracias a los arreglos tecnológicos que producen los efectos tecnológicos que justifican su realidad, misma que solo se justifica por las características intrínsecas de los efectos tecnológicos, porque son ellos los que nos proporcionan los elementos objetivos, públicos, repetibles, predecibles y controlables que le permiten inferir al científico su existencia. Pero la riqueza del efecto tecnológico no queda ahí, ya que además de emplearse para confirmar y enriquecer lo que la teoría postula, también sirve para generar nuevas aplicaciones que sin duda impactan nuestra vida cotidiana. Esa es la importancia de entender y estudiar a la ciencia y a la tecnología como un binomio inseparable, pues la teoría científica sin la tecnología puede ser un discurso racional, explicativo, interesante y atractivo de suyo, pero lo cierto es que la riqueza de nuestra ciencia no descansa en su discurso, sino en sus aplicaciones, predicciones y el inmenso control que podemos ejercer sobre el mundo que nos rodea gracias a la tecnología que emplea.

De hecho, es la tecnología, en este caso el tubo de rayos catódicos, la que salió del laboratorio y con el efecto tecnológico que produce, en este caso los rayos catódicos, fue como realmente se generaron las innovaciones tecnológicas que le sirvieron a la sociedad, como fueron en su momento las pantallas de las televisiones y las computadoras hechas de rayos catódicos. Con esto quiero decir que los fines que persigue la ciencia cuando desarrolla determinada tecnología son muy diferentes a los que el industrial ve e interpreta en esa misma tecnología con fines y propósitos de utilidad y muy distintos a los que perseguía el científico. La conclusión es que la convergencia entre ciencia e industria se da en el desarrollo tecnológico que se gesta al interior de la ciencia, pero es la

tecnología y no el “descubrimiento” científico lo que puede ser utilizado por el industrial. Con esto quiero decir que, bien entendido, no es propiamente la ciencia, sino la producción de la tecnología que ella requiere, la que genera la convergencia entre ciencia, tecnología e industria. Si esto es así, es comprensible que una política de importación de la tecnología que requiere la ciencia para su desarrollo es una medida muy eficiente para nunca conseguir que la sociedad se beneficie de la ciencia.

### **Efecto tecnológico y teoría científica**

Otro aspecto importante de cómo influye la tecnología en el desarrollo del conocimiento científico, que apenas empieza a despuntar gracias al trabajo de Davis Baird, es el que tiene que ver con la producción de efectos tecnológicos que no se saben interpretar teóricamente, pero que con el tiempo acaban dando lugar a ricas teorías científicas. De hecho, Baird, pese a su veta popperiana que lo lleva a utilizar un lenguaje que más que aclarar lo que defiende confunde al lector, parece que ataca de frente la idea de que todas nuestras interpretaciones están cargadas de teoría. Analizando su libro podríamos decir que su tesis consiste en afirmar que el conocimiento que nos brinda un efecto tecnológico es no solo incuestionable, sino totalmente independiente de su interpretación teórica. Es más, lo que afirma Baird es que mientras que el efecto tecnológico es un hecho incontrovertible, las teorías que lo interpretan o lo pueden interpretar pueden conservarse o abandonarse, mientras que el efecto tecnológico mismo está ahí, patente, ante la vista de todos y, por lo tanto, nadie en su sano juicio lo puede poner en duda. Tratemos de ilustrar las implicaciones de esta afirmación.

Arriba discutíamos si los rayos catódicos eran suficiente evidencia para garantizar la existencia de los electrones. Su demostración, como vimos, se obtiene del comportamiento de los rayos catódicos y, desde la perspectiva de Baird, podríamos decir que ellos son y representan el elemento epistemológico que lleva a inferir a Thomson que los electrones existen. Visto así, Thomson, a pesar de que desarrolló un arreglo tecnológico con la clara intención de probar que los átomos estaban compuestos de partículas subatómicas, no pudo evitar sorprenderse del efecto que produjo su tubo. La manifestación del rayo catódico fue tan inesperada

por él y sus colaboradores que al principio nadie supo cómo interpretar el fenómeno. Fue solo posteriormente que Thomson supo sacarle provecho para postular la existencia de los electrones, pero como lo señalamos en su momento, esta es una interpretación posible de la observación de los rayos catódicos. Sin embargo, lo que está completamente fuera de duda es el efecto tecnológico que produjo y aún produce el tubo de rayos catódicos independientemente de que se conserve o no la tesis de la existencia de los electrones. Este punto es importante porque, desde esta perspectiva, se muestra que el efecto tecnológico es el que perdura y se manipula a voluntad, al mismo tiempo que es el que sirve como fundamento y motor de la interpretación científica.

Pero la tesis de Baird, en contraste con la de Hacking, es que hay casos donde los efectos tecnológicos por sí mismos son susceptibles de proporcionarnos un conocimiento novedoso independientemente de que haya o no una teoría que los interprete. Lo interesante es que Baird, en su libro *Thing Knowledge*, ampliamente ilustra la posibilidad de que primero se genere el efecto tecnológico y, con base en el conocimiento que se obtiene de él, después se elabore la teoría *ad hoc* que lo interprete. Su tesis, entre otras cosas, cuestiona con seriedad el prejuicio de que el desarrollo tecnológico necesariamente depende del científico, y lo que él muestra es que los efectos tecnológicos que carecen de interpretación teórica pueden ser y servir como una rica fuente para estimular la creación de novedosas teorías científicas. Quizá un ejemplo que tanto Hacking como Baird utilizan nos pueda servir para ilustrar este punto. Pero antes quisiéramos dar algunos antecedentes para que se entienda su importancia.

Hasta el Renacimiento era normal confundir la electricidad estática con el magnetismo, pero Willian Gilbert (1544-1603) tajantemente los distinguió como dos fenómenos distintos e independientes. En su monumental obra conocida como *De Magnete*, Gilbert desarrolló una inmensa cantidad de experimentos donde descubrió que aparte del ámbar hay una infinidad de sustancias capaces de manifestar propiedades eléctricas, mientras que el imán solo atrae al hierro. Gilbert fue quien introdujo los términos “electricidad”, “fuerza eléctrica” y “atracción eléctrica”. Por otro lado, fue él quien también descubrió que el imán posee polos magnéticos opuestos, idea que le sirvió para fundamentar que la Tierra era una especie de gran imán. Además, demostró que una piedra imantada podía imantar al hierro volviéndolo magnético sin que la piedra original

perdiera su propia potencia. Pero aparte de estos grandes hallazgos Gilbert también sostuvo que mientras que la atracción eléctrica era un fenómeno corpóreo causado por un efluvio invisible a nuestros sentidos, la acción magnética era un poder incorpóreo, ya que su acción no podía ser obstruida cuando se interponían otros materiales, como el cristal, la madera o el papel. De hecho, aunque a Gilbert se le adjudique la paternidad tanto de la electricidad como del magnetismo, la razón que lo llevó a separar tajantemente estos dos fenómenos respondió a su interés por demostrar que la electricidad era un fenómeno físico, mientras que el magnetismo no lo era. De eso infirió que la atracción magnética que observamos en el imán debía ser entendida como un claro ejemplo de que ciertas fuerzas ocultas e inteligentes actuaban en la naturaleza para organizar el comportamiento del cosmos.

La relevancia de esta historia radica en que a partir de Gilbert los fenómenos eléctricos se volvieron el centro de interés para desarrollar un inmenso arsenal de aparatos tecnológicos para generar, controlar y almacenar electricidad. En contraste, muy pocos se interesaron en seguir explorando el magnetismo, posiblemente porque no se le consideraba un fenómeno corpóreo.

Michael Faraday (1791-1867), según nos platica su biógrafo L. Pearce Williams (que también retoma Hacking), fue un hombre profundamente religioso. Aparentemente su propia mística lo llevó a pensar que si Dios era coherente, tendría que haber una estrecha relación entre todas las fuerzas del universo. Pese a todo el esfuerzo experimental que Gilbert realizó para distinguir entre la fuerza eléctrica y la magnética, Faraday se dio a la tarea de diseñar un arreglo tecnológico para tratar de demostrar que esta separación era incorrecta. Previamente ya había quienes se habían percatado de que junto a una pila de Volta la aguja de una brújula se afectaba cuando se acercaba a la corriente eléctrica de la pila. Con base en esta observación Faraday procedió a diseñar una serie de aparatos que combinaban elementos eléctricos con magnéticos para ver qué pasaba, hasta que, para sorpresa del mismo Faraday, uno de ellos produjo el efecto que se conoce como “rotación electromagnética”. Así nace el denominado “motor electromagnético de Faraday” y lo que Baird afirma es que lo que parece indiscutible es que cuando Faraday construyó el arreglo tecnológico que produjo el efecto de rotación electromagnética no existía ninguna teoría científica que guiara su arreglo tecnológico y mucho menos

una posible interpretación del fenómeno observado. De hecho, Faraday partió de una convicción religiosa y fue esta la que lo motivó a desarrollar la tecnología que produjo la rotación electromagnética, donde no queda claro si su propósito era científico o metafísico. Tampoco es explícito qué tanto influyó la idea de Gilbert en torno a su tesis de que el magnetismo era una fuerza inteligente no corpórea encargada de darle orden al cosmos. No obstante, es importante reconocer que fue gracias a su inagotable labor ingenieril que Faraday logró producir ese efecto tecnológico que, sin exagerar, nos cambió la vida: se usa en la producción de electricidad, en la industria automotriz, en las telecomunicaciones, etc. Pero lo relevante para nosotros en este apartado es que claramente muestra que fue un efecto tecnológico, que en su momento carecía de interpretación científica, lo que le sirvió a James Clerk Maxwell para ver e interpretar de otra manera el comportamiento de ciertos fenómenos naturales a la luz de lo que se observaba con el arreglo tecnológico de Faraday. Esto es, con base en lo que el efecto tecnológico de Faraday manifestaba, Maxwell logró construir la teoría electromagnética que actualmente sirve como soporte para proponer teóricamente la existencia de una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza y que es capaz de explicarnos una infinidad de fenómenos que acontecen en el mundo natural.

Ahora bien, pese a las impresionantes aplicaciones de la rotación electromagnética y a la indiscutible riqueza explicativa que nos heredó la teoría de Maxwell, lo que tendemos a olvidar es que los fenómenos que observamos en la naturaleza son la electricidad y el magnetismo. A menos que Gilbert estuviera totalmente errado al descubrir las diferencias entre estos dos fenómenos, parece que tenemos que reconocer que el electromagnetismo es un efecto tecnológico. El hecho de que Maxwell de manera muy exitosa lo supiera aprovechar para construir una nueva teoría no implica que el electromagnetismo sea un fenómeno natural. Sin embargo, una vez creada la teoría parece que ya no hay reparo para asumir que el efecto tecnológico es natural y que, por lo tanto, el resultado que con tanto ingenio y esfuerzo provocó Faraday se debe entender como un gran descubrimiento científico. Esto tiene consecuencias para entender cómo se relaciona la tecnología con la ciencia, pues la tecnología que provocó el fenómeno quedó no solamente relegada a segundo término, sino que las aplicaciones que se han logrado crear a partir de ese efecto tecnológico se interpretan ahora como triunfos de la ciencia. El problema

es que las ricas aportaciones de la tecnología nuevamente se vuelven por completo transparentes, lo cual contribuye a que se piense en ella como un elemento irrelevante para comprender cómo opera y se relaciona el conocimiento tecnológico con el científico y el importante papel cognitivo que constantemente juega la tecnología tanto en el desarrollo de la ciencia como en el de la industria.

## Conclusiones

Hemos presentado un breve panorama en torno a la riqueza que se puede obtener cuando se considera el papel cognitivo de la tecnología en la ciencia. Lo que parece claro es que sin esa consideración no se puede llegar a entender cómo interactúan la ciencia y la tecnología ni cuál podría ser la manera más eficiente y racional para seguir fomentando a estos dos titanes que, en este momento de nuestra historia, son y representan motores importantísimos para el desarrollo socioeconómico de la vida moderna.

La tradición sistemáticamente ha tendido a ignorar, minimizar o malinterpretar la importancia de la tecnología en la obtención del conocimiento científico. Pero una concepción errada en torno al importante papel que juega la tecnología en la ciencia puede tener inmensas repercusiones negativas para el desarrollo de un país. A nuestro juicio, pensar en la tecnología como mera ciencia aplicada oscurece la comprensión en torno a la relación entre la ciencia y la tecnología, además de que no se entiende por qué aquellos que desarrollan la tecnología especializada que necesita su ciencia son los que más éxito han tenido en la producción de innovaciones tecnológicas.

Lo que tenemos que reconocer es que la producción del conocimiento científico es un complejo entramado que combina intuiciones, teoría, tecnología, descubrimientos naturales y efectos tecnológicos. No parece haber un orden ni una jerarquía fija en torno a cómo se conectan unas cosas con otras para obtener sus resultados. Como vimos, hay teorías que guían la producción tecnológica, pero también hay producción tecnológica que guía la construcción de teorías. No cabe duda de que parte de la ciencia trabaja con fenómenos naturales, pero esperamos haber dejado claro que hay otra parte importante que surge, se fundamenta y se apoya en efectos tecnológicos. Esto, a nuestro juicio, no es ni se debe interpre-

tar como un defecto de la ciencia, sino como una forma diferente y más coherente de entender la rica manera como contribuye la tecnología en el desarrollo del conocimiento científico y en las innovaciones tecnológicas.

En realidad, generalmente en el proceso de investigación se combinan teorías y efectos tecnológicos, pero muchas de las interpretaciones y resultados de la ciencia están sustentados en los efectos tecnológicos. El hecho es que los efectos tecnológicos juegan un papel ontológico y epistemológico importantísimo en el desarrollo de la investigación científica. Son ellos los que les dan cuerpo a las entidades teóricas y son ellos los que permiten el paso de la mera especulación a hechos concretos y utilizables por la sociedad. Si esto es correcto, podemos concluir que ignorar el papel cognitivo de los efectos tecnológicos es un craso error, pues solo nos puede conducir a nunca entender qué es y cómo muchas veces de hecho trabaja, crece y se desarrolla eso que llamamos “conocimiento científico” y cómo es que ese conocimiento puede ser utilizado por la industria y la sociedad.

## Referencias

- Baird, Davis (2004). *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments*, Berkeley, University of California Press.
- Bohr, Niels (1947). “Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics”, en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hacking, Ian (1983). *Representing and Intervening, Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Harré, Rom (2003). “The Materiality of Instruments in a Metaphysics for Experiments”, en Hans Radder, *The Philosophy of Scientific Experimentation*, University of Pittsburgh Press.
- Joerges, Bernward y Terry Shinn (2001). *Instrumentation between Science, State and Industrie*, Países Bajos, Kluwer, Dordrecht.
- Pearce, Williams (1965). *Michael Faraday. A Biography*, Londres y Nueva York.
- Radder, Hans (2003). “Toward a More Developed Philosophy of Scientific Experimentation”, *The Philosophy of Scientific Experimentation*, Pittsburgh, PA, University of Pittsburgh Press.

- Sherman, Josepha (2005). *J. J. Thomson and the Discovery of Electrons*, Hockessin, DE, Mitchel Line Publishers.
- Tiles, Mary y Hans Oberdiek (1995). *Living in a Technological Culture*, Londres, Routledge.
- Westfall, Richard (1977). *The Construction of Modern Science*, Cambridge, Cambridge University Press.



Esta edición de *El paradigma de la convergencia del conocimiento. Alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario*, coordinada por Mónica Casalet Ravenna, se terminó de imprimir en junio de 2017 en los talleres de Offset Rebosan, S.A. de C.V., Av. Acueducto núm. 15, col. San Lorenzo Huipulco, C. P. 14370 Tlalpan, Ciudad de México. Coordinación de Fomento Editorial: Gisela González Guerra; cuidado de edición: Sonia Zenteno Calderón; diseño de forros: Rodrigo Toledo Crow; diseño de interiores y formación electrónica: Flavia Bonasso. Para su elaboración se usaron tipos *Garamond* y *Frutiger*.

El tiraje consta de 1000 ejemplares.

# EL PARADIGMA DE LA CONVERGENCIA DEL CONOCIMIENTO

La novedad de este libro radica en el análisis de un nuevo paradigma del conocimiento basado en un proceso de interacción creciente entre diferentes disciplinas y tecnologías. El inicio de esta transformación surge en el desarrollo de la biotecnología, la nanotecnología, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas que dan lugar a un proceso de convergencia-divergencia, núcleo central en la nueva arquitectura del conocimiento científico y tecnológico, con profundas implicaciones para abordar la complejidad de la sociedad. La intención de la obra es abrir un espacio de discusión y análisis sobre una perspectiva que ha orientado las políticas de innovación en múltiples países desarrollados, pero casi inexistente en la agenda de los países latinoamericanos. La documentación reunida constituye una base para fortalecer investigaciones multidisciplinares y explorar nuevas formas de evaluación de los resultados obtenidos en la conformación de equipos interinstitucionales. La finalidad es acelerar los intercambios y la difusión de mecanismos para diseñar políticas de fomento a la investigación, a la formación y a la vinculación pública y privada que conciernen tanto a la gestión institucional como a la orientación de los fondos públicos para la investigación, cuyo beneficio permita apropiarse del futuro productivo.



FLACSO  
MEXICO



RED CONVERGENCIA  
Red de Centros de Investigación

ISBN 978-607-8517-12-1



9

786078

517121

www.flacso.org.mx