

EL PARADIGMA DE LA CONVERGENCIA DEL CONOCIMIENTO

Alternativa de trabajo
colaborativo y multidisciplinario



Mónica Casalet Ravenna

Coordinadora



FLACSO
MÉXICO

EL PARADIGMA DE LA CONVERGENCIA DEL CONOCIMIENTO

Alternativa de trabajo
colaborativo y multidisciplinario



Mónica Casalet Ravenna

Coordinadora



FLACSO
MEXICO

El paradigma de la convergencia del conocimiento

**Alternativa de trabajo colaborativo y
multidisciplinario**

Mónica Casalet Ravenna
(coordinadora)



FLACSO
MÉXICO

Índice

Introducción

Mónica Casalet Ravenna

Primera parte

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

1. Convergencia tecnológica y científica en torno al sector biotecnológico

Federico Stezano, Fernando Quezada

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

Sergio Carrera Riva Palacio

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

Edgar Buenrostro Mercado

4. 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

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

5. Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial
Mónica Casalet Ravenna
6. Innovación, complejidad productiva y oportunidades de convergencia: el caso de la industria aeronáutica
Juana Hernández Chavarria
7. Convergencia tecnológica en las maquiladoras de México: un caso paradigmático
Jorge Carrillo, Ismael Plascencia
8. Cooperación para la innovación: el papel de las instituciones en la industria aeroespacial en Montreal
Christian Lévesque, Blandine Émilien, Lucie Morissette, Laurence Solar-Pelletier
9. Una mirada a la industria aeroespacial en Italia y a los procesos de convergencia del conocimiento en este sector
Prudenzio Mochi Alemán, Cristina Girardo

Tercera parte
Epistemología de la tecnología

10. Epistemología de la tecnología
Nydia Lara Zavala

Notas

Créditos

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 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 CRISPR 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 investigación 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 científicos 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 tampoco 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 Yoguel, 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 convergente (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 México: 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 empresariales 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 Prudenziio 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 multidisciplinarios 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", *Biosens: 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 OECD. 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.

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 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 (Anderl *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