

La digitalización industrial

Un camino hacia la gobernanza colaborativa

Estudios de casos

Mónica Casalet



NACIONES UNIDAS

CEPAL



POR UN DESARROLLO
SOSTENIBLE CON IGUALDAD



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/suscripciones

La digitalización industrial

Un camino hacia la gobernanza colaborativa

Estudios de casos

Mónica Casalet



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento fue preparado por Mónica Casalet, bajo la supervisión de Sebastián Rovira y Jorge Alejandro Patiño, funcionarios de la Unidad de Innovación y Nuevas Tecnologías de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del proyecto “Apoyo a la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe”, ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2018/95
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2018
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.18-00941

Esta publicación debe citarse como: M. Casalet, “La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. Estudios de casos”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2018/95), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Presentación	5
Capítulo I	7
A. Los sistemas ciberfísicos los ejes de la Industria 4.0	7
B. Convergencia del conocimiento y la combinación de tecnologías	8
Bibliografía	10
Capítulo II	11
A. Alemania: impulsor clave del modelo Industria 4.0	11
B. La plataforma de Industria 4.0, una red de colaboración clave para consolidar el modelo	12
C. Desafíos para generar un entorno favorable a la Industria 4.0	14
D. La cooperación internacional y el diseño de una arquitectura de referencia para la industria	14
Bibliografía	16
Capítulo III	19
A. Evolución de la manufactura avanzada al sistema de manufactura inteligente: el caso de Estados Unidos	19
B. Manufacturing USA: el ecosistema de la industria inteligente	21
C. Nuevos apoyos públicos-privados que complementan la red Manufacturing USA	24
Bibliografía	27
Capítulo IV	29
A. El rápido crecimiento del ecosistema digital en China	29
B. La construcción del futuro en sectores de conocimiento intensivo	30
C. Las necesidades no resueltas para apropiarse de la tecnología en China	32
D. Aumento de la capacidad de innovación de China	33
Bibliografía	36
Capítulo V	37
A. La Comunidad Autónoma del País Vasco: de los clústeres al impulso pleno de la fabricación inteligente	37
B. El plan de industrialización 2017-2020, una reflexión estratégica fundamental	39
1. Gobernanza del plan	43
2. La agenda digital 2020	43

C. Aspectos vinculados con la estrategia de fabricación avanzada en el Plan de ciencia, tecnología e innovación	44
D. Cedes públicas y privadas de apoyo a la innovación y la fabricación inteligente	45
1. La Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial (SPRI)	46
2. Red Innobasque	46
3. Basque Innovation Perception (BIP)	46
4. Red iNNvest	47
5. Tecnalía Research and Innovation (TRI)	47
6. Orkestra	47
Bibliografía	48
Capítulo VI	49
A. Capacidades tecnológicas de México para asimilar la digitalización de la industria	49
1. Dimensiones de infraestructura, productivas y económicas que sostienen el avance de la digitalización en el país	49
B. Desarrollo productivo sectorial y localización territorial	52
1. Sector aeroespacial	53
2. Sector automotriz	54
3. Sector de TIC	55
4. Sector electrónico	56
C. Consolidación del sector de CTI	56
D. Potencial de generación y atracción de talento	58
E. El papel de los centros públicos de investigación (CPI) y la vinculación con los sectores productivos: una red importante en el avance de la I4.0	59
F. La organización institucional	62
1. Organizaciones intermedias	62
2. Redes temáticas Conacyt	63
3. Laboratorios nacionales	63
G. Fondos para la investigación: fomento a la investigación pública-privada	64
1. Fondos de Investigación en Fronteras de la Ciencia	65
2. Fondo Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de la Innovación (Fordecyt)	65
3. Fondos Mixtos, Fomix	65
4. Fondo de Innovación Tecnológica (FIT)	65
H. Conclusiones. consideraciones para determinar las estrategias en México	66
Anexos	69
Bibliografía	67
Capítulo VII	73
A. Reflexiones finales: aspectos relevantes que surgen en el diseño de políticas industrial e innovación de las estrategias de aplicación de la I4.0 en los países industrializados	73

Las tendencias tecnológicas en la manufactura marcadas por el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la robotización y la analítica de grandes datos, están transformando los procesos industriales. Estos cambios marcan las pautas de lo que se conocen como la cuarta revolución industrial, la industria 4.0 o la manufactura inteligente. Como consecuencia a estas transformaciones, los países industrializados, han implementado decisiones públicas y privadas en el diseño de programas y proyectos para reorientar sectores productivos estratégicos y apropiarse de las oportunidades de esta fase industrial. En tanto, los países latinoamericanos más industrializados, han manifestado una incipiente preocupación sobre estas tendencias tecnológicas en las discusiones académicas y en las agendas industriales y de innovación.

Las interrogantes que guían esta investigación buscan identificar las condiciones técnicas y políticas adecuadas, que permitan aprovechar las oportunidades que plantean las tecnologías digitales en la producción, con la intención de fortalecer la estructura productiva mediante la coordinación y la reorientación de acciones públicas y privadas para alcanzar nuevos objetivos industriales.

Parte del objetivo de este trabajo es caracterizar este nuevo paradigma industrial como protagonista de una etapa disruptiva. La reflexión abarca la revisión de estrategias y programas adoptados en Alemania, Estados Unidos, la Comunidad del País Vasco y China, con la intención de proporcionar información relevante para plantear una visión que facilite la apropiación de nuevos conocimientos, tecnologías, procesos y que aliente la transformación productiva de la región, y particularmente la del sector industrial mexicano.

Este análisis también es relevante a la luz de la reciente aprobada Agenda digital para América Latina y el Caribe (eLAC2020), acordada durante la Sexta Conferencia Ministerial sobre la Sociedad de la Información, que mantiene entre sus prioridades hacia 2020 el impulso del uso de tecnologías digitales en las empresas y la transformación digital de la economía.

Este trabajo se realizó con el apoyo de la cooperación alemana, a través de la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), en el marco del Programa “Apoyo a la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe”, y el proyecto “Industrialización inclusiva y sostenible en América Latina”.

A. Los sistemas ciber-físicos los ejes de la industria 4.0

El aumento de la capacidad de comunicación, procesamiento e interacción con el entorno, aunado a la reducción de costos posibilitó el trabajo colaborativo entre dispositivos y agentes. La complejidad tecnológica actual es un medio para optimizar los procesos, pero también supone disrupciones en la cadena de valor, la extensión de nuevos sectores y modelos de negocios (McKinsey Global Institute, 2012 y 2017).

El internet industrial articula el mundo digital con el de las máquinas, combina el sistema industrial con el avance de la computación, facilitando la recolección de grandes volúmenes de datos a través de las máquinas. Hay diferentes denominaciones de las bases técnicas, internet industrial e Industria 4.0 son muy similares, la primera es más amplia que la producción industrial.

La combinación de los sistemas ciber-físicos (CPS, por sus siglas en inglés) son los ejes de la industria 4.0, constituyen el soporte de la estrategia alemana de fabricación inteligente, en concordancia con las capacidades del país en la fabricación y el desarrollo de tecnologías de información. De acuerdo con Acatech (2011) el desarrollo de los sistemas CPS se apoya en: i) los sistemas inteligentes, los servicios móviles y la computación ubicua, ii) los procesos de negocios basados en internet, como la tecnología de radio frecuencia para la identificación de dispositivos (RFID, por sus siglas en inglés) utilizados de forma creciente en el comercio y la logística, generalmente subcontratados con proveedores de servicios en la nube, iii) las redes sociales y comunidades (web 2.0), incluidas las redes de conocimiento abierto (*open knowledge*).

El avance en la capacidad de almacenamiento y procesamiento de un gran volumen de datos impulsó el uso de algoritmos y de la inteligencia artificial para el análisis y la sistematización de información, y las conexiones entre individuos, maquinas y dispositivos. Los datos constituyen una nueva fuente de competitividad. A esto se agrega, la visualización analítica (Thomas, 2005) como una vertiente del análisis de la de información para optimizar y combinar las capacidades humanas y de las máquinas. La visualización analítica es una vertiente interdisciplinaria que va más allá del enfoque tradicional (visualización científica y visualización de información), para incluir principios y métodos estadísticos, matemáticos, de ciencias de la cognición y percepción, y la representación del conocimiento (Toledo Nolasco, 2016).

En el desarrollo de la fabricación inteligente incide el internet de las cosas (IoT) aplicado a controlar en tiempo real dispositivos de la producción, que se conoce también como internet industrial de las cosas (*Internet Industrial of Things, IloT*), que no es un subconjunto del IoT, ya que los objetos de IloT pueden crear objetos de IoT, dado que las máquinas y herramientas están conectadas a internet y los datos que se envían a la red son principalmente mediciones del desempeño de estos objetos (Sánchez Aguilar, 2016). La principal característica de IoT es la integración de varias tecnologías de identificación y seguimiento, tales como sensores inalámbricos, actuadores integrados, dispositivos portátiles y sistemas digitales de control empleados para rastrear productos en la cadena de producción.

La investigación realizada por Brettel *et al.* (2014), Kang *et al.* (2016) y Lee *et al.* (2016) sobre la Industria 4.0 sugiere que su utilización creciente ha propiciado la rápida extensión de aspectos ligados con la producción personalizada que satisface las necesidades heterogéneas de los clientes a través de la individualización y los efectos de escala a lo largo de la cadena de producción. El concepto de personalización masiva de la producción se desarrolla mediante procesos flexibles, diseño de productos modulares y la integración de la cadena de suministro. La modularización es un medio aceptado para aumentar la variedad de productos (Glass y Kleemann, 2016). En la fábrica inteligente, el producto, al comunicarse con su entorno, puede reconfigurar la disposición de los sistemas de fabricación y adaptar los cambios en la producción de manera rentable. Los componentes de las máquinas tienen la capacidad para reordenarse de acuerdo con la interfaz del módulo mecánico. De esta forma, la complejidad de la coordinación se reduce, al mismo tiempo que se incrementa la flexibilidad (Qiao, Lu y McLean, 2006; Wang *et al.*, 2016; Kang *et al.*, 2016).

Otro aspecto señalado por Brettel *et al.* (2014) se refiere a la integración horizontal de redes colaborativas, dimensión que explica la profundidad del valor agregado en una fábrica inteligente, que disminuye mientras la complejidad de los productos y procesos aumenta. Para alcanzar la productividad de las organizaciones tradicionales, los empleados deben comunicarse con varios departamentos, muchos localizados fuera del territorio de operación. Para mantener una ventaja competitiva global, las nuevas modalidades de organización basada en la manufactura distribuida exigen a las empresas vincularse a los colaboradores mediante redes, con flexibilidad de cooperar dentro de la cadena de suministro, con rutas y horarios para rastrear los flujos de mercancías y organizar datos sobre la fiabilidad de entrega y distribución.

Por último, Brettel *et al.* (2014) destacan la integración *end-to end* que consiste en la ingeniería integrada en toda la cadena de valor por medio de métodos avanzados de comunicación y virtualización. Un aspecto central de la Industria 4.0 es cómo los procesos empresariales, incluidos los flujos de trabajo y servicios de ingeniería, pueden integrarse utilizando CPS.

Un factor decisivo en los sistemas CPS es que la información de diferentes aplicaciones debe ser semánticamente compatible. Esta interoperabilidad es lo que permite la interacción de aplicaciones (Iturriaga, 2015; Acatech, 2011; Cheng *et al.*, 2013; Schmidt *et al.*, 2014; Glass y Kleemann, 2016).

B. Convergencia del conocimiento y de tecnologías

El nuevo paradigma digital en la producción es una tendencia imparable. Muchos de los instrumentos técnicos ya están disponibles. La novedad que surge es que facilita un nuevo horizonte en los modelos de negocios, servicios y productos personalizados. No es solo una nueva tecnología, sino la combinación de las existentes en un nuevo sentido. El trabajo colaborativo y multidisciplinario es una condición del proceso para lograr diseños efectivos y viables, así como también la necesidad de generar normas y protocolos en las interfaces entre componentes.

Los desafíos complejos involucran múltiples disciplinas, desde la biotecnología, la nanotecnología y la genómica. La transversalidad de la digitalización se expande a nuevos campos o se entrelaza con los existentes generando nuevas áreas híbridas,

como la microelectrónica y la nanofabricación que han logrado un desarrollo de sensores y dispositivos para aplicaciones biomédicas (Hall *et al.*, 2010). Los sistemas CPS, en sí mismos, son interdisciplinarios, incluyen sistemas físicos, mecánicos, hidráulicos, eléctricos, electrónicos, *software* y sensores. La interdisciplinariedad se manifiesta tanto en el diseño, la producción y los modelos de negocios, constituyen sistemas de conocimiento y técnicas con una visión de trabajo colaborativo (Acatech, 2011; Sztipanovits *et al.*, 2013). El nuevo paradigma basado en la digitalización diluye los límites entre las industrias, contribuye a la resolución de desafíos complejos de la producción y crea nuevos nichos de especialización, generando otras formas de gestión y modelos de negocios (Casalet, 2017).

La participación humana y las capacidades de las máquinas se complementan para resolver problemas, que de forma aislada no se podrían resolver. La convergencia del conocimiento y las tecnologías construyen una interrelación entre diferentes disciplinas. No es un evento fortuito, sino la consecuencia de la diversificación aunada al crecimiento de la complejidad económica, productiva y societal, cuyas demandas propician respuestas orientadas a la integración de diferentes disciplinas para enfrentar problemas (Hacklin y Wallin, 2013). La convergencia de múltiples campos del conocimiento constituye un proceso de modularización que da lugar a nuevas dimensiones organizativas, tecnológicas y sectoriales. La integración del conocimiento en diferentes disciplinas constituye un desafío crítico para la innovación y la gestión. La multidisciplinariedad surge como una forma relevante para la búsqueda de nuevas soluciones, sostenida en los programas implementados por los países industrializados (política industrial, de investigación y desarrollo, de formación de capacidades) y en las grandes empresas, especialmente en los fabricantes de diseño original (OEM, por sus siglas en inglés).

Por ejemplo, la Unión Europea desde inicios del 2000 impulsa programas para desarrollar la ingeniería colaborativa, con una acción de cooperación sincrónica y asincrónica de los miembros de un equipo distribuidos geográficamente. Entre los múltiples proyectos destacan: ATHENA (*Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications*) orientado a los sectores aeronáutico y automotriz, con objetivo de resolver, mediante un enfoque holístico, los problemas de interoperabilidad utilizando diferentes dimensiones, métodos e infraestructuras. El proyecto SEINE (*Standards for the extended digital innovative Enterprise*) orientado a mejorar y estandarizar los intercambios de datos y procesos entre OEM y proveedores del sector aeronáutico, enfatizando la cadena de abastecimiento, los estándares de datos de productos, la integración de pymes en los procesos digitales y la definición de funcionalidades y servicios de plataforma necesarios para apoyar la colaboración. La asociación ARTEMIS (Advanced Research & Technology for EMbedded Intelligent Systems) que congrega en la Unión Europea a representantes de la industria, las pymes, universidades e institutos de investigación y constituye una plataforma responsable para elaborar la agenda de investigación en sistemas CPS integrados, promueve la investigación y la innovación entre autoridades a nivel público, con el fin de establecer prioridades estratégicas.

Las relaciones de cooperación dentro de Europa tienen un apoyo determinante, con el fin de consolidar los intercambios de conocimiento y desarrollar una estrategia integral de la digitalización a nivel regional. Estos avances provenientes de múltiples fuentes (públicas, privadas, internacionales y nacionales) crean las bases para un nuevo modelo de gobernanza, aún en proceso de elaboración, pero que junto con las investigaciones y las políticas diseñadas darán nuevas normas y regulaciones a los vacíos actuales (Casalet, 2017).

Bibliografía

- 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.
- Brettel, M., N. Frederichsen, M. Keller y M. 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.
- Casalet, M. (2017), "Convergencia y digitalización de la producción en el sector aeroespacial" en M. Casalet, [Ed.] *El paradigma de la convergencia del conocimiento. Alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario*, Ciudad de México, Flacso, pp. 125-149.
- Cheng, Y., F. Tao, Y. L. Liu, D. Zhao, L. Zhang y L. D. Xu (2013), "Energy-aware resource service scheduling based on utility evaluation in cloud manufacturing system", *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 22, núm. 12, pp. 1901-1915.
- Glas, A. y F. C. Kleemann, (2016), "The impact of Industry 4.0 on procurement and supply management: A conceptual and qualitative analysis", *International Journal of Business and Management Invention*, vol. 5, núm. 6, pp. 55-66.
- Hacklin, F. y M. W. Wallin (2013), "Convergence and interdisciplinary in innovation management: a review, critique, and future directions", *The Services Industries Journal*, vol. 33, núm. 7-8, pp. 774-788.
- Hall, A. R., A. Scott, D. Rotem, K. K. Mehta, H. Bayley y C. Dekker, (2010), "Hybrid pore formation by directed insertion of -haemolysin into solid-state nanopores", *Nature nanotechnology*, núm. 5, pp. 874-877.
- Iturriaga, Ibon (2015), "Manufactura Avanzada y efectos de la reestructuración industrial a nivel sectorial y territorial". M. Casalet, *Gobernanza e Impulso a las Agendas Estatales de Innovación*. Seminario llevado a cabo en Flacso, México, octubre.
- Kang, H. S. et al. (2016), "Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, vol. 3, núm. 1, pp. 111-128.
- McKinsey Global Institute. (2017), "A future that works: Automation, employment, and productivity". Disponible en: <http://www.voced.edu.au/content/ngv:75268>.
- McKinsey Global Institute (2012), "Manufacturing the Future: The Next Era of Global Growth and Innovation" [en línea] <http://www.oecd.org/dev/Manufacturing-the-future-the-next-era-of-global-growth-and-innovation.pdf>.
- Qiao, G., R. Lu y C. McLean (2006), "Flexible manufacturing system for mass customization manufacturing", *NIST's Systems Integration for Manufacturing Applications (SIMA) Program*.
- Sánchez Aguilar, A. (2016), "De un gran volumen de datos a datos inteligentes", *Newsletter XXV Aniversario: La explotación de los datos, visualización y otras tecnologías*, vol. 61, núm. 1.
- Schmidt, R. et al. (2015), "Industry 4.0-potentials for creating smart products: Empirical research results", *International Conference on Business Information Systems*, pp. 16-27.
- Schmidt, R., M. Möhring, S. Maier, J. Pietsch (2014), "Big data as strategic enabler -insights from central european enterprises", W. Abramowicz y A. Kokkinaki (eds.): *Business Information Systems*, Suiza, Springer International, pp. 50-60.
- Sztipanovits, J. y otros (2013), "Foundations for innovation: Strategic R&D opportunities for the 21th century cyberphysical systems", *National Institute of Standards and Technology (NIST)* [en línea] <http://www.nist.gov/el/upload/CPSWorkshopReport13013Final.pdf>.
- Toledo Nolasco, A. (2016), "Sistemas de recomendación y visualización analítica", *Newsletter Edición XXV Aniversario: La Convergencia de tecnologías y el Big Data*, vol. 17, núm. 61, p. 2.
- Thomas, J. J. (2005), "Illuminating the path the research and development agenda for virtual analytics", *IEEE Computer Society*.

A. Alemania: impulsor clave del modelo industria 4.0

Alemania y China son los dos países con mayor desempeño exportador pese a sus diferencias estructurales e históricas. Alemania se ha sostenido como un referente en la capacidad de capturar los beneficios de la globalización y el crecimiento del comercio internacional. Los sectores manufactureros claves de su desarrollo son los productores de máquinas herramienta, maquinaria electrónica, las industrias química y automotriz y la fabricación de equipamiento médico, óptico o de precisión. El desarrollo de la industria colocó al país como segundo productor de manufacturas entre los países industrializados, contando con la mayor participación en el valor agregado (junto con Estados Unidos) en algunos sectores claves como la producción de automóviles y máquinas herramienta.

A pesar de los elevados costos de la fuerza de trabajo, de las materias primas y de la energía, Alemania cuenta con factores favorables, como la ubicación geográfica y, en general, con una fuerza de trabajo motivada y capacitada, una estructura productiva dinámica compuesta por empresas de diversos tamaños y de diferentes ramas de actividad (German Innovations, 2011). Este país también juega un papel determinante en la creación de tecnologías y productos para la generación de energías renovables y de eficiencia energética. Alemania se propuso el cierre total de las plantas nucleares para el año 2022 y dejar de depender de los combustibles fósiles impulsando los renovables de tal manera que se ha convertido en un referente mundial en políticas climáticas.

La nueva apuesta a futuro es la estrategia orientada al desarrollo de la Industria 4.0 (I4.0) basada en la integración de sistemas de producción ciberfísicos en manufactura y logística, al uso de internet de las cosas y los servicios en los procesos industriales (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013; Acatech, 2011; Menon, Kärkkäinen y Lasrado, 2016). La Industria 4.0 en conjunto con el incremento de las capacidades de comunicación, de procesamiento y de interacción con el entorno, permite la reducción exponencial de costos con base en la colaboración entre dispositivos y agentes. El nuevo nivel de organización y gestión impacta a toda la cadena de valor en el ciclo de vida del producto (Maier, Korbelt y Brem, 2015; Brettel *et al.*, 2014, 2016).

El éxito manufacturero alemán no es accidental, en el diseño e implementación de las políticas públicas jugó un papel destacado el gobierno federal, por medio de los ministerios de Educación e Investigación (BMBF) y Economía y Energía (BMWi) al estimular la formación de redes de I+D, con el objetivo de orientar la manufactura digital hacia la interconexión de productos, cadenas de valor y modelos de negocio. (Digital Transformation Monitor, 2017; Platform Industrie 4.0, 2016) El papel asignado al aprendizaje continuo de los trabajadores compartido por los actores sociales de la industria (centrales sindicales, grandes empresas, gobiernos federales, centros tecnológicos y universidades) contribuyó a reforzar alianzas entre el sector público y el privado a pesar de las diferencias para orientar financiamientos y fondos para apoyar la I4.0.

Desde 2006 el gobierno alemán impulsó el internet de las cosas y servicios con la estrategia de alta tecnología que involucró múltiples programas, entre otros la alianza de investigación entre la industria y la academia para la innovación. Research Alliance

es el consejo asesor integrado por 19 miembros representativos de la academia y la industria (ECSEL, 2017). Entre los promotores de esta alianza se encuentran la Academia de Ciencia e Ingeniería (Acatech), que agrupa el interés de la comunidad científica y tecnológica, con funciones de organización asesora en innovación tanto para *policy-markers* como en la transferencia de conocimientos para el sector empresarial; el Centro Alemán de Inteligencia Artificial (DFKI), orientado a la aplicación de la investigación básica, desarrolla productos, prototipos y soluciones patentables en el área de las TIC (GTAI, 2014).

La iniciativa SmartFactoryKL Technology, gestada por el DFKI en 2005, es la primera fábrica independiente pública-privada europea de proveedores para la aplicación industrial de TIC, además de funcionar como pionero de la transferencia tecnológica en aspectos claves de la I4.0 operando varios módulos pilotos. Un aspecto central de la investigación en la demostración de la plataforma SmartFactor que manufactura productos personalizados en lotes de acuerdo con la especificación del cliente.

La digitalización en Alemania no es un fenómeno nuevo, lleva años desarrollándose en la industria, aunque el concepto tiene actualmente una fuerte presencia en los medios de comunicación. La digitalización tiene implicaciones muy profundas, puesto que pone en cuestión la frontera entre industria y servicios, facilita la entrada a la industria de nuevos actores sin capacidades productivas. Aunque algunos autores mantienen cierto escepticismo sobre la novedad tecnológica que presenta la Industria 4.0 señalando que el efecto de los cambios en los métodos de trabajo y de producción, destacan la presencia de una senda evolutiva más que de una revolución (Drath y Horch, 2014; Kagerman *et al.*, 2013; Glas y Kleemann, 2016).

En 2010 se lanzó la Estrategia de alta tecnología 2020 (*High Tech Strategy 2020*) para consolidar el liderazgo de Alemania en la manufactura digitalizada al mismo tiempo que la innovación en otros sectores como: el cambio climático, la salud y la seguridad. El Plan de Acción para la Estrategia de alta tecnología 2020 incluyó “10 futuros proyectos sobre I4.0 para aumentar y generalizar la digitalización a través de Fabricas Inteligentes y IoT” (GTAI, 2014; Plattform Industrie 4.0, 2015). El gobierno asume la responsabilidad de la Agenda Digital con fondos de 200 millones de euros administrados por BMBF y BMWI orientados a la investigación, apoyos para la participación de las pymes, y fondos orientados a la estandarización y regulación (Digital Transformation Monitor, 2017; Plattform Industrie 4.0, 2015).

B. La plataforma de industria 4.0, una red de colaboración clave para consolidar el modelo

En el 2012 se organiza el grupo de trabajo sobre I4.0 presidido por Robert Bosch GmbH¹ y la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería del Alemania (Acatech). Las recomendaciones resultantes de dicho grupo fueron presentadas al gobierno alemán, nuevamente en la Feria de Hannover en abril de 2013, donde las tres asociaciones industriales, la Asociación Federal Alemana de Tecnología de Información, Telecomunicaciones y Media (Bitkom), la Asociación de Manufactura Eléctrica y Electrónica (ZVEI) y la Asociación de Ingeniería Mecánica (VDMA), acuerdan organizar

¹ *Gesellschaft mit beschränkter Haftung* significa sociedad con responsabilidad limitada. Es un tipo de figura del derecho mercantil donde la responsabilidad de los accionistas se limita al importe de su inversión original, por lo tanto, ellos no son responsables de las deudas de la empresa, de modo que sus activos personales siempre están seguros, incluso si la empresa quiebra. Es el tipo de corporación más común en Alemania.

una plataforma de implementación de la Industria 4.0 (Platform Industry 4.0). La Platform Industry 4.0, surgida de estos acuerdos, se constituye como una red abierta de transferencia de información y colaboración que agrupa a actores públicos como los ministerios de economía y energía; y de educación e investigación, grandes empresas, centrales sindicales y paulatinamente se extiende a las universidades y centros de investigación para hacer efectivos los diagnósticos y la investigación sobre el proceso, la implementación y evaluación del nuevo modelo.

Tanto el BMWI como BMBF asumen un papel activo para desarrollar la agenda de la Platform I4.0 focalizando la construcción conceptual, la creación de estándares y regulación para consolidar un papel líder de Alemania en la nueva transformación industrial. El diálogo se expande a diferentes sectores y actores, que operacionalizan el interés por organizar un temario a nivel nacional e internacional para la consolidación de la I4.0 en la integración de los sistemas tecnológicos, la creación de una arquitectura de estándares e interoperabilidad, definición de nuevos modelos de negocios y de organización para impulsar su aplicación. Mediante la colaboración intersectorial y transversal se desarrollan las bases para la aplicación de tecnologías, normalización y modelos. El cometido fue impulsar la ejecución práctica de la industria digitalizada.

La plataforma industria 4.0 formó cinco grupos de trabajo abiertos a los interesados, es decir, a empresas, organizaciones sindicales e instituciones de investigación, para resolver y orientar sobre problemas centrales de ejecución e implementación, tales como: i) creación de una arquitectura de referencia para estándares y normas, y realizar recomendaciones para la estandarización global en las aplicaciones industriales; ii) impulso a la investigación e innovación con el interés de generar nuevos escenarios para el desarrollo de la I4.0 e identificar necesidades; iii) seguridad y sistemas de redes para favorecer el manejo confiable de los datos y la protección de empresas, especialmente pymes, iv) marco legal con la finalidad de examinar los aspectos determinantes de la economía digital, y v) trabajo, educación y formación, identificando oportunidades y riesgos para el empleo. Los debates incluyen la calidad del trabajo, expandiendo las discusiones hacia una perspectiva de la innovación en el trabajo, en un mundo digitalizado, con la idea de complejizar la visión exclusivamente tecnológica. Algunos grupos, frente a la presión de I4.0 y el excesivo enfoque tecnológico, plantean desarrollar una perspectiva complementaria denominada Trabajo 4.0 (IG Metal, 2013; Botthof y Hartmann, 2014; Howaldt, Kopp y Schultze, 2017).

Los grupos de trabajo impulsados por plataforma industria 4.0 cumplieron con diversas actividades desde diagnósticos y elaboración de mapas de ruta, coordinación de actividades con la industria y una nueva orientación legal. La idea subyacente es apoyar prácticas comerciales en el desarrollo e implementación de nuevos estándares y modelos de negocios y prestar atención a aquellas áreas donde las soluciones legales son necesarias y cubren vacíos que emergen con la digitalización (Rohleder, 2017; Plattformform Industrie 4.0, 2016; Brettel *et al.*, 2016).

La estructura organizativa de la plataforma industria 4.0 la convierte en una red central para el avance de la digitalización en la industria, su acción involucra a 159 organizaciones, con el objetivo de transmitir información adecuada para asegurar la confianza en la aplicación de la digitalización a través de la elaboración y análisis de casos de éxitos y recomendaciones prácticas. En la red de actores involucrados en el desarrollo del modelo I4.0 se destacan Fraunhofer Gesellschaft que desempeñan un papel activo en la integración de los grupos de trabajo surgidos en la plataforma 4.0. Los Fraunhofer Gesellschaft, fundados en 1949, constituyen una importante red de laboratorios de investigación e institutos que se orientan a áreas específicas de investigación y formación, gozan del apoyo del sector privado en la investigación y constituyen una pieza clave en el avance de la innovación.

C. Desafíos para generar un entorno favorable a la industria 4.0

La calificación de la mano de obra alemana, en ciertos sectores, es un serio problema, conjuntamente con la temporalidad de los contratos y los bajos salarios de los polémicos *minijobs*. En algunas regiones como Baviera con un desempleo del 3,2% la escasez de trabajadores es aguda, según la predicción de la Cámara de Comercio bávara, se necesitarán 230.000 trabajadores y el doble para el 2030. La economía crece, está en plena expansión, mientras que el desempleo es bajo con una tasa de paro del 5,8%. La pirámide demográfica envejece y es difícil reemplazar a los trabajadores que se jubilan, sobre todo los que poseen una sólida calificación en el sector servicios. El problema demográfico es particularmente agudo en Alemania, ya que también los empresarios de las empresas familiares, perteneciente a la generación de la posreunificación y está llegando a la edad de jubilación (Carbajosa, 2017).

Por otra parte, en los diferentes diagnósticos realizados por los grupos de trabajo, se identificaron múltiples necesidades para generar un entorno favorable a la digitalización relacionadas con las pymes, tanto en la calificación como en las nuevas exigencias del sistema sociotécnico, entre ellas destacan: i) la implementación e integración de las pymes al nuevo modelo de industrialización. Alrededor de 99% de las empresas alemanas pertenecen al *Mittelstand*, que son empresas de nicho, hiperespecializadas, con pocos trabajadores y con mucha exportación e invierten una parte considerable de sus beneficios en I+D que les asegura liderazgo en su mercado, son especialmente fuertes en ingeniería eléctrica y productos industriales (BMW, German *Mittelstand*); ii) la adecuación de las mejores prácticas para asegurar la información entre las pymes, para generar confianza y viabilidad en su integración a la cadena de producción. Con este fin se desarrolló *Compass* (solo aplicable en Alemania), una guía introductoria al modelo 4.0 que en forma rápida y sencilla proporciona un soporte adecuado y no comercial; iii) la difusión de las innovaciones productivas de la I4.0 por medio de eventos y discusiones; iv) organización de grupos con problemas comunes en la implementación de la digitalización (por ejemplo de herramientas, fabricantes de herramientas, gerentes y entrenadores del mismo ramo) que puedan compartir una visión del modelo, en diferentes situaciones, reduciendo inquietudes y contribuyendo a la confianza; v) la elaboración de guías explicativas y acciones prácticas, como presentación de casos exitosos y recomendaciones; vi) formación continua y conocimientos multidisciplinarios, y vii) establecimiento y promoción de mejores prácticas en redes, para asegurar la transferencia y la colaboración con universidades, institutos tecnológicos y organizaciones intermedias.

D. La cooperación internacional y el diseño de una arquitectura de referencia para la industria

La consolidación de la plataforma industria 4.0 responde a las necesidades de construir un sistema estable de comunicación, coordinación y asesoría. Por ejemplo, el diseño de una arquitectura de referencia uniforme para la industria RAMI 4.0 fue reconocido como un preestándar, por la IEC/ISO (Internacional Standardisation Organisations) con la intención de divulgarlo internacionalmente. RAMI es la primera recopilación de elementos tecnológicos esenciales de la I4.0 en un modelo uniforme. Proporciona a

las empresas de diferentes ramas un marco de orientación uniforme, ya que permite la identificación de las normas pertinentes. Si no se dispone de un estándar adecuado, RAMI ayuda a identificar vacíos.

También atender la ciberseguridad es un aspecto de relevancia y preocupación para la plataforma 4.0, ya que es uno de los mayores problemas en la generalización del uso de sistemas, como los sistemas CPS y almacenamiento de datos para el intercambio en la nube.

La cooperación internacional con socios como Japón, China, Francia, Italia y Estados Unidos es otra dimensión abordada, especialmente para sostener la preeminencia del modelo alemán en futuros mercados. En la cooperación internacional juega un papel importante ARTEMIS, la asociación industrial europea para I+D en sistemas CPS y en Tecnologías de Habilitación Clave (KET, por sus siglas en inglés). Es una organización público-privada con miembros de la industria, pymes, universidades e institutos de investigación que construyen la agenda sobre componentes electrónicos y sistemas (Electronic Components and Systems for European Leadership, ECSEL JU). Esta asociación orientada al espacio europeo organiza proyectos colaborativos, foros, y materiales de información para su divulgación en el ámbito empresarial (ECSEL, 2017; ARTEMIS, 2016).

La creación de una estructura institucional de apoyo a la colaboración internacional ha estrechado la vinculación con el Consorcio de Internet Industrial (IIC) mediante la elaboración de una plataforma de soluciones de seguridad globales e interoperables, basada en la estructura de seguridad de internet industrial publicado por IIC y la plataforma 4.0. El consorcio de internet industrial se focaliza en la creación de estándares y de armonización de referencias de arquitectura de ICC y la plataforma 4.0 en la realización de *testbeds*. Ambas se complementan, mientras el IIC se orienta a desarrollar las dimensiones de IoT, la plataforma 4.0 se concentra en la digitalización industrial. De acuerdo a la plataforma 4.0, la digitalización exige aprender nuevos contextos de negocios sobre el tema. Por ello, en diferentes regiones se crearon centros de información sin fines de lucro. Existen 22 centros de información en Frankfurt, 26 en Stuttgart, 17 en Hannover, 18 en Düsseldorf, 13 en Múnich, 13 en Berlín, y uno en Leipzig. La iniciativa pública organizó conjuntamente con compañías y la plataforma 4.0 la Red de Laboratorios I4.0 con la finalidad de contribuir al asesoramiento de las empresas y compilar resultados en áreas de estandarización (Brettel *et al.*, 2014; Brettel *et al.*, 2016; Brettel, Klein y Friederichsen, 2016).

En la evaluación de las prácticas relevantes, una encuesta de la Aachen University aplicada a gerentes industriales por el Laboratorio de Máquinas Herramientas e Ingeniería de Producción de la misma universidad, indica que más del 90% de los gerentes entrevistados estaban muy interesados en resolver el dilema entre escala, alcance y el establecimiento de familias de productos. Por otra parte, la investigación realizada por el Instituto de Gerentes Industriales de Aachen señalaba las dificultades para la aplicación de la manufactura rápida (RMS) por no contar con un sistema eficiente de informatización tecnológica, por la debilidad en la integración con otros procesos, la falta de conocimientos adecuados por parte de los empleados y el poco interés de las empresas en asimilar y difundir los cambios entre sus empleados.

Por otra parte, en las múltiples encuestas realizadas, se constata la oportunidad para el ingreso de las pymes a la cadena de producción, por la descentralización que introduce la digitalización, con un alto potencial para personalizar productos mediante la participación con otras compañías. Sin embargo, el proceso de virtualización depende fuertemente de la capacidad y el tamaño de las empresas, dejando a las pymes en situación de desventaja, ya que no pueden afrontar procesos de simulación y modelización.

La creación del Programa Pymes-Digital favoreció la creación de centros de excelencia orientados a proveer información sobre tecnologías innovadoras, computación en la nube, servicios para enfrentar nuevos procesos y calificaciones con evaluación de calidad.

En la investigación realizada por Brettel *et al.* se desprende el potencial de la I4.0 para el futuro de la producción. Aunque se considera que aún existen muchos obstáculos para reemplazar las tecnologías convencionales. Otras encuestas indican una preocupación (especialmente para empresas medianas) sobre las garantías para los productos personalizados, ya que lograr la certificación no es económicamente rentable. También se manifiesta la necesidad de proporcionar información accesible, aspecto que muchas empresas no están muy dispuestas a divulgar, ya que temen perder posiciones en la negociación con sus pares y proveedores. Sin embargo, en las empresas del sector automotriz se indica que es muy importante compartir información entre los miembros de la cadena de valor para bajar costos.

Bibliografía

- ARTEMIS (2016) *The Artemis Strategic Research Agenda 2016. The pathway to digital transformation* [en línea] <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/artemis-strategic-research-agenda-2016-pathway-digital-transformation>.
- 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.
- Bothhof, A. y E. A. Hartmann, (2014), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, Berlín, Springer Vieweg.
- Brettel, M., Fischer, F. G., Bendig, D., Weber, A. R., Wolff, B. (2016), "Enablers for self-optimizing production systems in the context of Industrie 4.0"; *48th CIRP Conference on Manufacturing Systems-CIRP CMS 2015*, pp. 93-98.
- Brettel, M., M. Klein y N. Friederichsen (2016), "The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0"; *48th CIRP Conference on MANUFACTURING SYSTEMS-CIRP CMS 2015*, vol. 41, pp. 105-110.
- Brettel, M., N. Friederichsen, M. Keller, M. 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, pp. 37-44.
- Carbajosa, A (2017). "A la caza del trabajador en el paraíso del pleno empleo" en *Diario El País* [en línea] https://elpais.com/internacional/2017/09/14/actualidad/1505387360_117506.html, 17 de septiembre.
- Digital Transformation Monitor (2017), *Germany: Industrie 4.0*. [en línea] https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf.
- Drath, R. y A. Horch (2014). "Industrie 4.0: Hit or hype?" *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 8, núm. 2, pp. 56-58.
- ECSEL (2017). *Multi Annual Strategic Research and Innovation Agenda for ECSEL Joint Undertaking* [en línea] <https://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/ECSEL%20MASRIA%202016.pdf>.
- German Innovation (2011), *German Center for Research and Innovation* [en línea] <http://www.germaninnovation.org/research-and-innovation/german-innovations?year=2011>.
- Glas, A. H. y F. C. Kleemann (2016), "The impact of Industry 4.0 on procurement and supply management: A conceptual and qualitative analysis"; *International Journal of Business and Management Invention*, vol. 5, núm. 6, pp. 55-66.
- GTAI-German Trade & Invest (2014), *Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future* [en línea] https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf.
- Howaldt J., R. Kopp y J. Schultze (2017), "Why Industrie 4.0 needs workplace innovation. A critical essay about the German debate on advanced manufacturing"; en P. Oeij, D. Rus y F. Pot (eds) *Workplace innovation. Aligning perspectives on health, safety and well-being*, Springer, Cham.

- IG Metal (2013), "Industrie 4.0. Herausforderungen für Mitbestimmung und Gewerkschaftliche Interessenvertretung", en *Documento de trabajo IG Metal* [en línea] http://www.cms.igmetall-kueste.de/files/1D_a225574352.pdf.
- Kagermann, H., W. Wahlster, J. Helbig (2013), *Implementation recommendations for the future project Industry 4.0. Final report of the working group Industry 4.0*, Frankfurt, Main.
- Maier, M. A., J. J. Korbelt y A. Brem (2015), "Innovation in supply chains-solving the agency dilemma in supply networks by using Industry 4.0 technologies", *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, vol. 15, núm. 2, pp. 1754-1780.
- Menon, K., H. Kärkkäinen y L. A. Lasrado (2016). "Towards A maturity modeling approach for the implementation of industrial internet", *PACIS 2016 Proceedings*, vol. 38.
- Plattform Industrie 4.0 (2016), *Progress report. Digitalization of industrie-plattform Industrie 4.0* [en línea] https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/digitization-of-industrie-plattform-i40.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Plattform Industrie 4.0 (2015), *Plattform Industrie 4.0* [en línea] <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>.
- Rohleder, B. (2017), *Strengthening Germany as the number 1 country for Industry 4.0. Plattform Industrie 4.0 presents ten-point plan at the Digital Summit* [en línea] <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/PressReleases/2017/2017-06-13-digitalgipfel.html>.

A. Evolución de la manufactura avanzada al sistema de manufactura inteligente: el caso de Estados Unidos

Estados Unidos si bien sigue siendo el principal productor de manufacturas, su participación experimentó un descenso significativo en el valor agregado manufacturero en la pasada década. Entre el año 2000 y el 2009, el valor agregado manufacturero creció 50% nominalmente y 20% en términos reales, mientras que la participación de los Estados Unidos descendió de más de 25% a poco menos de 20% del total del valor agregado manufacturero. Esta pérdida ha beneficiado a los países del sudeste de Asia, India y, fundamentalmente, a China. La disminución de la participación difiere por rama de actividad y es más significativa en el sector de la maquinaria electrónica, maquinaria y equipamientos y, sobre todo, en vehículos de motor y la fabricación de equipo rodado pesado. Sin embargo, en este general hay sectores que experimentan un crecimiento significativo, como es el caso de la industria química y farmacéutica.

La estrategia manufactura avanzada impulsada en Estados Unidos por el expresidente Obama buscaba recuperar la actividad industrial perdida por los procesos de deslocalización. El movimiento de la producción *offshoring* provocó una pérdida de la producción industrial, que debilitó las capacidades de investigación, las aptitudes y las habilidades de apropiación de conocimientos de los trabajadores. A esto se agregan los nuevos procesos de manufactura, que emergen con la digitalización de la producción y la integración de los sistemas CPS. De acuerdo con el Consejo Presidencial de Asesores en Ciencia y Tecnología (PCAST, 2011) la estrategia estadounidense se focalizó en desarrollar la manufactura avanzada, entendiendo por tal el uso y coordinación de la información, automatización, computación, *software*, sensores y funcionamiento en red, que hacen uso de materiales de vanguardia y capacidades emergentes vinculadas con las ciencias físicas, la biotecnología, la nanotecnología, la química y la biología. La revolución de la tecnología informática, conjuntamente con la bio, nano y ciencias cognitivas (NBIC, por sus siglas en inglés) son la base fundacional de la convergencia del conocimiento, tecnologías e investigaciones multidisciplinarias.

La Oficina para la Implementación del Programa de Manufactura Avanzada fue responsable de la orientación y aplicación de la estrategia en estrecha colaboración con la industria y la academia. La finalidad fue elaborar escenarios del futuro basados en previsiones económicas y de pronóstico sobre diferentes áreas (defensa, energía, salud, industria, seguridad, economía y mercados globales), mediante un proceso interactivo de comunicación continua y procesamiento de documentación entre la industria, la academia y el gobierno. Este trabajo, cumplió un papel fundamental para orientar la investigación y la infraestructura, con el interés de articular una economía en red. Las metas fueron dirigidas a: 1) fortalecer los incentivos financieros para atraer inversión y retener a las empresas mejorando la manufactura existente, 2) diseñar incentivos financieros para facilitar la inversión de empresas en otros estados y expandir las firmas dentro del propio territorio, 3) crear un apoyo real a las pymes para participar como proveedoras de manufactura avanzada. Muchas de estas empresas participan activamente en las cadenas de valor de las industrias aeroespacial, automotriz y de maquinaria

para la agricultura, y acceden como proveedoras de la cadena de valor incursionando en nuevas tareas que abre la manufactura avanzada. Por ello, la innovación depende mucho de la capacidad de estas empresas, que no tienen capacidades formales de I+D y cuentan con pocos contactos con las universidades. La carencia de programas que combinen investigación aplicada en ingeniería con investigación y educación representaba un problema para que las empresas proveedoras puedan implementar los cambios tecnológicos (PCAST, 2011).

El Programa Federal de Asociación para la Manufactura (MEP), fundado en colaboración entre estados y gobierno federal, busca proveer de asistencia técnica a pymes para contribuir al desarrollo competitivo. Los 588 centros MEP se organizan en todos los estados, con más 1.200 empleados de campo como asesores comerciales confiables y expertos técnicos que colaboran con el desarrollo de las pymes. Aunque, hay que señalar, la falta de coordinación con laboratorios y programas federales. Para colaborar más efectivamente con las necesidades de las pymes, el comité coordinador recomendó la creación del portal nacional sobre manufactura avanzada destinado tanto a las empresas, como a las organizaciones e individuos para informar sobre fondos federales e investigaciones colaborativas, que efectivamente contribuya a avanzar en la innovación, el diseño y desarrollo de nuevos productos.

Para reforzar los intercambios entre las universidades y la industria, el Comité Directivo de la Asociación de Manufactura Avanzada (AMPSC, por sus siglas en inglés) identificó necesidades críticas. Una de las recomendaciones fue aumentar la formación en ingeniería, creando programas donde los graduados tengan un conocimiento real de la manufactura en cuanto a las tecnologías y sobre las perspectivas operacionales. La creación de la Red Nacional para la Innovación en la Manufactura (NNMI, por sus siglas en inglés) constituye una vasta red de centros que aceleran el desarrollo y la innovación, además de contribuir a la adopción de la manufactura avanzada en el país. Durante 2013 y 2014 se buscó consolidar un fondo de inversión de mil millones repartido entre el gobierno, el sector privado y otros recursos no federales para organizar una red de investigación aplicada en manufactura avanzada y aditiva. Las instituciones emergentes de la Red Nacional de Manufactura e Innovación fueron:

America Makes: instituto nacional de innovación en fabricación aditiva, establecido en 2012 en Youngstown, Ohio, con el objetivo de acelerar la adopción de la manufactura aditiva e impresoras 3D en las manufacturas, organizado como un instituto público-privado con integrantes de la industria, la academia, el gobierno y las agencias no gubernamentales (America Makes, 2017).

El Instituto de Innovación de Diseño y Fabricación Digital, tiene la misión de establecer un lugar de pruebas de vanguardia para la fabricación y el diseño digital que vincule herramientas, estándares, modelos, sensores, controles y habilidades en tecnología informática para facilitar las transiciones de diseño y fabricación de Estados Unidos en aplicaciones a gran escala. El DMDII se alinea estrechamente con las necesidades de la manufactura inteligente (SM), con el flujo de información en toda la empresa para habilitar las capacidades de flexibilidad, calidad, productividad y sostenibilidad. DMDII ha emitido tres rondas de convocatorias de proyectos en áreas de importancia estratégica, que incluyen estándares de comunicación de máquinas inteligentes y sistemas operativos de fabricación ciberfísicos (DMDII, 2017).

El Instituto Americano de Innovación de Manufactura de Fabricación Ligera, es un instituto público-privado con el objetivo de desarrollar materiales livianos y capacidades de fabricación en metal para base de la industria, y preparar nuevas capacidades en la fuerza de trabajo (ALMMII, 2017).

El Instituto de Innovación de la Próxima Generación de Manufactura Electrónica en Energía (Next Generation Power Electronics Manufacturing Innovation Institute), conjuntamente con el Departamento de Energía (DOE), la academia y la industria, aúnan esfuerzos para revolucionar la eficiencia de energía en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo dispositivos electrónicos, redes y vehículos eléctricos.

El Instituto Fotónico Integrado para la Innovación de Manufactura (Integrated Photonic Institute for Manufacturing Innovation *IP-IMI*), tiene la finalidad de elaborar el estado del arte en el ensamblaje de pruebas de fabricación de diseño y empaque de circuitos integrados en fotónica compleja, combina fotónica y electrónica.

PowerAmerica, una agrupación que permite la producción en pequeña escala de materiales críticos (carburo de silicio y el nitruro de galio) para el campo emergente de la electrónica. Ambos componentes están dominados por un grupo pequeño de productores, PowerAmerica agrupa la producción de semiconductores de pequeñas empresas para lograr economías de escala.

Complementando los campos de aplicación de la manufactura avanzada y de acuerdo con la visión convergente americana, la nueva revolución del conocimiento incluye a la biotecnología y la nanotecnología centrada en el desarrollo del trabajo interdisciplinario, que trasciende el ámbito de una disciplina para trabajar transversalmente conocimientos y tecnologías, y surgen otras iniciativas como: Iniciativa del Genoma de Materiales (Materials Genome Initiative) que es una multiagencia para crear nuevas políticas, recursos e infraestructura que apoyen a las instituciones en el esfuerzo por la fabricación de materiales y dispositivos avanzados. A esta se agrega, la fundación de Iniciativa Nacional de Robótica (Robotics National Initiative); y la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (Nanotechnology National Initiative).

B. Manufacturing USA: el ecosistema de la industria inteligente

En 2014 se lanzó la iniciativa Manufacturing USA una fase de profundización en la creación de una estructura organizativa de apoyo público-privado para el desarrollo de la digitalización en la industria, el fomento a la investigación aplicada y el diseño de nuevas redes que faciliten la información y competitividad.

La profundización del concepto de digitalización en la producción como la ampliación de la estructura organizativa de apoyo, se denominó RAMI (Revitalize American Manufacturing and Innovation Act, 2014) y estaba orientada a reforzar la red para la innovación en la manufactura inteligente.

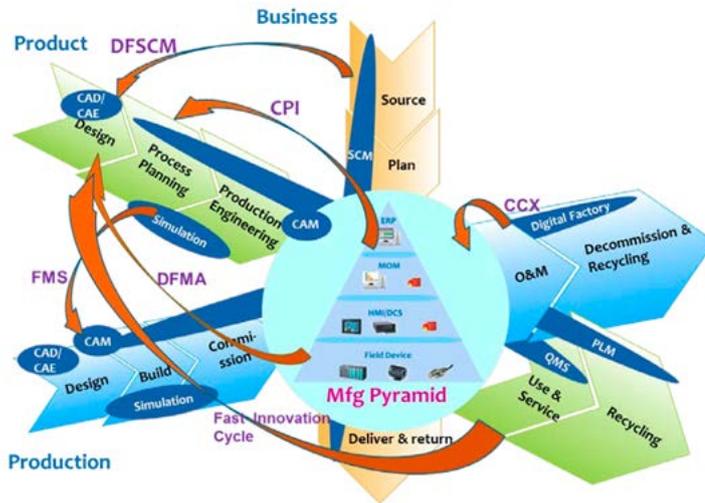
El Programa Manufacturing USA depende de la Oficina del Programa Nacional de Manufactura Avanzada (Advanced Manufacturing National Program Office -AMNPO) interagencia federal que supervisa las funciones y evalúa la trayectoria y desempeño del programa. Manufacturing USA es la superestructura que incluye todos los institutos de la Red Nacional de Innovación de Manufactura (NNMI) más los institutos creados por el Departamento de Defensa (DoD) y el Departamento de Energía (DOE) (Manufacturing USA, 2017; Lu, Morris y Frechette, 2016). Estos tienen la finalidad de promover la informatización de la producción y superar las dificultades y desafíos, desde la fabricación flexible, la manufactura integrada, la manufactura virtual, la construcción de redes, la integración de la información, el manejo de datos y la integración empresarial (Tao *et al.* 2014).

Manufacturing USA juega un papel importante para conducir investigaciones, aprendizajes y garantizar el liderazgo de Estados Unidos en los procesos y productos inteligentes (Hart, Ezell y Atkinson, 2012). Esto provoca el tránsito de la manufactura avanzada a la manufactura inteligente (SM), el término surge en la definición propuesta por el Congreso, en la North American Energy Security and Infrastructure Act de 2016 donde se plantea que: “la fabricación inteligente se refiere a la aplicación de la tecnología de información en todas las fases del proceso de producción manufacturero moderno, desde la forma como se diseña, fabrican y consumen los productos, hasta cómo las máquinas y equipos involucrados en el proceso de producción están conectados. La manufactura inteligente implica conocimiento en cada fase del proceso: Diseño, fabricación y uso continuo. La SM debe incluir la continuidad de productos diseñados de manera óptima (con uso eficiente de energía) y sistemas de producción que operan de manera eficiente, con productos que se utilizan de manera inteligente y sostenible, hasta el final de su vida útil” (Ezell, 2016).

A pesar de los avances en la legislación para asegurar un entorno favorable al desarrollo de la manufactura inteligente, también se han detectado varios problemas en la calificación insuficiente de la mano de obra. Por ejemplo, Accenture sostiene que 80% de los trabajadores en la producción carecen de habilidades básicas, para aprovechar al máximo la fabricación inteligente. Deloitte Consulting and Manufacturing Institute advierten que los ejecutivos de la manufactura reportan una brecha significativa para encontrar talento con las habilidades requeridas, incluso para desempeñar trabajos con 3D (Deloitte, 2017). Entre las respuestas que se manejan para enfrentar la carencia de capacidades surge: 1) expandir el uso de estándares nacionales para el desempeño industrial con certificaciones designadas para cada sector (Ezell y Atkinson, 2011), 2) apuntalar el financiamiento a los *Community College* que juegan un papel importante en la capacitación de la futura fuerza de trabajo en Estados Unidos (más de la mitad de los 1.600 *Community Colleges* ofrecen especialización en la formación para la manufactura) (Ezell y Atkinson, 2011). Por su parte, la Fundación Nacional de Ciencias (National Science Foundation - NSF) ha generado un programa para apoyar a las universidades en el desarrollo de la investigación científica con el fin de diseñar sistemas ciberfísicos y profundizar en la formación sobre los mismos. La Agencia de Investigación en Proyectos Avanzados en Defensa (DARPA) sostiene varias investigaciones para acelerar estos procesos y la formación en CPS (NIST, 2013).

La unión de la digitalización con la industria abre también incertidumbres sobre estándares interoperables para pasar datos desde el diseño y la definición del producto, al equipo y al proceso de producción. Como una vía para subsanar esta deficiencia, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) colabora en trazar el panorama de estándares de fabricación inteligente y trabaja con la industria para fomentar el desarrollo de estándares voluntarios y mejores prácticas en torno a problemas de interoperabilidad. Actualmente, NIST maneja varias iniciativas para desarrollar nuevos estándares. NIST y el grupo de aplicaciones abierta (OAGI) celebran conjuntamente talleres sobre arquitecturas en la nube para la fabricación inteligente. También se estableció un grupo de trabajo público para proponer una arquitectura de referencia e identificar estándares relacionados con big data. NIST también trabaja sobre la ciberseguridad para las cadenas de suministro y los sistemas industriales.

Figura III.1
Ecosistema de la manufactura inteligente



Fuente: Lu, Y., K. C. Morris y S. Frechette (2016), "Current standards landscape for smart manufacturing systems", National Institute of Standards and Technology NIST

La figura que antecede ilustra las dimensiones del ecosistema de la manufactura inteligente: proceso del producto (verde), sistema de producción (azul) y negocio (naranja). El ciclo de vida del sistema de producción se refiere a los flujos y controles de información que comienzan en el diseño del producto, la implementación, la operación y el desmantelamiento de una instalación de producción completa. El círculo de negocios aborda las interacciones entre proveedores y clientes. Cada una de estas dimensiones se integran en las máquinas, las plantas y las aplicaciones de *software* y ayudan a habilitar controles avanzados para una decisión óptima. La combinación de estas perspectivas y los sistemas que las respaldan conforman el ecosistema de la fabricación inteligente. La construcción piramidal es el núcleo del ecosistema de manufactura inteligente y donde converge el ciclo de vida del producto, de la producción y de los negocios. La integración de las maquina al sistema de la planta es crítico y depende de los estándares, estos son herramientas valiosas que facilitan la adopción de tecnologías e innovaciones, contribuyen con capacidades clave para desarrollar el sistema de manufactura inteligente, ya que permiten el acceso a los datos para adoptar decisiones rápidas, optimizar la producción y la calidad, además de tomar las medidas precisas para usar materiales y energía, mejorar la seguridad y la sostenibilidad.

Los estándares del ciclo de vida del producto (PLM, por sus siglas en inglés) contribuyen tanto a la agilidad como a la calidad de los procesos al permitir la integración de diferentes actividades a lo largo de los ciclos de vida del producto y sistema de producción. En el área de sistemas, la puesta en marcha de Contact Centers Express (CCX) proporciona instrucciones e información relacionada con la instalación y acceso a la interfaz del cliente, proporciona fiabilidad al sistema para mejorar la productividad, la calidad y sostenibilidad. Los estándares para el comercio electrónico, como grupos de aplicaciones abiertas (Open Applications Group Integration Specification, OAGIS), ayudan a optimizar los procesos comerciales entre socios de la cadena de suministro.

El Consorcio Internet Industrial (IIC), fundado por GE, IBM, CISCO, Intel y AT&T es similar a la organización creada en Alemania, Plattform Industrie 4.0. Esta organización se enfoca en todo lo que se pueda conectar a internet, proporcionar datos y aumentar la eficiencia. Además de los sistemas de fabricación, aborda también la integración de la digitalización en la energía, la asistencia sanitaria y la infraestructura. A diferencia de la

Plattform Industrie 4.0, que trabaja aspectos ligados directamente a estándares, IIC se ha fijado el objetivo de “definir y desarrollar la arquitectura de referencia y los marcos necesarios para la interoperabilidad” que podría ayudar a establecer estándares futuros.

El Consorcio para la Apertura y la Interconexión (OIC), fundado por compañías tecnológicas como Samsung, Cisco, GE e Intel, propone una solución de código abierto para habilitar la conectividad de dispositivo a dispositivo para IoT. OIC se enfoca en construir un estándar común de comunicaciones y patrocina el proyecto *IoTivity* para construir una implementación de referencia de código abierto de esas especificaciones. Se espera que la adopción del estándar OIC comience en electrónica de consumo y se expanda con el tiempo a aplicaciones industriales.

C. Nuevos apoyos públicos-privados que complementan la red manufacturing USA

A finales de noviembre de 2016 ocho institutos conformaban la Red de Manufacturing USA, a los ya creados por el NNMI se agrega NextFlex (America’s Flexible Hybrid Electronics Manufacturing Institute) fundado en 2015, con el fin de expandir el campo de la electrónica híbrida flexible (FHE, por sus siglas en inglés). NextFlex conecta a la industria de semiconductores de Silicon Valley con la tradicional industria de impresión en el *Midwest*. Ya que muchas soluciones para hacer frente a la electrónica híbrida flexible han sido resueltas por las compañías de la impresión, éstas necesitan expandirse hacia una tecnología avanzada.

IACMI (Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation) provee a la industria de fibra de carbón un proceso *end-to end* de alta tecnología abierta, una de las pocas disponibles actualmente en Estados Unidos. Para las pymes sería imposible acceder a esta producción por los altos costos, incluso, para las grandes empresas se dificultaría sin los recursos que provee IACMI a nivel de la investigación y el desarrollo, pues esto disminuye los riesgos y facilita a las empresas que los productos adicionales sean probados rápidamente.

AFFOA (Advanced Functional Fabrics of America) se constituyó en 2016 con la misión de transformar fibras tradicionales, hilos y telas en sistemas y dispositivos integrados y en red, altamente sofisticados. El Instituto pone a disposición de los fabricantes nacionales la propiedad intelectual de los dispositivos de fibra, enlaza una red de innovación de tejidos, de productores y laboratorios para ejecutar prototipos y producción piloto. Además, supervisa la red de incubadoras de telas avanzadas con el mercado.

NFLN (National Fab Lab Network) no tiene fines de lucro y es una organización pública-privada que apoya la fabricación digital y provee acceso a equipos, *software* y competencias para avanzar en la incorporación de la manufactura inteligente. Los Fab Lab aspiran a proporcionar acceso a potentes herramientas de fabricación, que incluyen cortadoras, fresadoras e impresoras 3D, a una gama cada vez más amplia de instituciones educativas y centros comunitarios locales de todo el mundo. Incubados dentro del MIT en el Centro BITs and Atoms la red está compuesta por 270 centros de fabricación independientes en setenta países alrededor del mundo. El Fab Lab se puede usar para brindar un espacio de trabajo a bajo costo a empresarios, para diseñar y construir prototipos, pero también puede ser usado para el aprendizaje de estudiantes, con el fin de involucrarse en la educación tecnológica, o por la comunidad, en muchos casos, para responder con soluciones creativas a necesidades locales. Su objetivo es apoyar el desarrollo de la tecnología digital mediante una red global de laboratorios de

fabricación equipados con modernas maquinas y equipos, con ingenieros capacitados y con una estructura de gobernanza flexible para responder a las demandas (Tapscott, 2013).

A finales de 2015 se lanza otra iniciativa National Strategic Computing Initiative (NSCI) con la intención de coordinar una estrategia para la investigación HPC (High Performance Computing) con el desarrollo y despliegue de multiagencias para fomentar la competitividad económica y los descubrimientos científicos aplicados a la producción en Estados Unidos.

La Red de Manufacturing USA se estructura en varias modalidades organizacionales, tales como: a) relaciones bilaterales industria-universidad; b) consorcios de colaboración competitiva, con el objetivo de lograr algo que está más allá del alcance de cualquier actor individual. Los institutos son ecosistemas que promueven y estimulan las asociaciones entre actores. Un ejemplo es America Makes y sus miembros. Por último, la modalidad de redes, una estructura descentralizada que facilita y sostiene las interacciones entre institutos-consorcios y entre miembros individuales de diferentes institutos, el ejemplo es el Programa Manufacturing USA que representa la suma del conjunto, que proporciona supervisión y orientación al desarrollo de los institutos, ya sea a nivel individual, como los institutos-consorcios y redes. Estas modalidades concentran alrededor de 1.200 compañías, agencias gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro, instituciones académicas que están integradas en los grupos de trabajo, en los comités diseñando proyectos y programas de trabajo para nuevas investigaciones, con una visión multidisciplinaria facilitan la colaboración multinivel y dan respuestas a las necesidades de la industria y la difusión de conocimientos (Deloitte, 2017; Manufacturing USA, 2017).

Cuadro III.1

Estrategias planteadas por Estados Unidos para posicionarse en la manufactura avanzada y los acuerdos de colaboración interinstitucional para sostenerlos

Estrategias para posicionarse en la manufactura digital	Acuerdos de colaboración interinstitucional para reforzar la vinculación y transferencia de conocimientos	Principales actividades emprendidas
<p>Creación del Programa Nacional de Manufactura Avanzada.</p> <p>Principales medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Aumento del volumen y calidad del gasto en I+D con planes a largo plazo. o Apoyos específicos para tecnologías emergentes. o Difusión de clústeres tecnológicos, con capacidad de investigación conjunta. o Cambio de estrategia comercial frente a los países asiáticos. o Aumentar la capacidad de la fuerza de trabajo en ingeniería, matemáticas y ciencias. o Política de expansión de la reserva federal para inyectar liquidez a la economía. 	<p>Creación de la oficina para implementación del Programa de Manufactura Avanzada con estrecha vinculación con la industria y la academia.</p> <p>El programa federal de Asociación para la Manufactura (MEP) provee asistencia técnica a las pymes para incorporarse a las cadenas.</p> <p>Creación de nuevos programas a nivel de las universidades para asegurar el liderazgo en manufactura avanzada.</p> <p>Creación de un fondo nacional a nivel gubernamental para Manufacturing Fellowship and Veterans.</p> <p>La industria se compromete a incluir jóvenes graduados en programas conjuntos con la universidad.</p> <p>Organizaciones intermedias que desarrollan un trabajo colaborativo por sector.</p> <p>Creación de la Red Nacional de Institutos para la Innovación en Manufactura.</p> <p>Red Nacional para la Innovación de Manufactura (NNMI) en 2014 se transformó en Manufacturing USA.</p>	<p>Elaborar pronósticos sobre diferentes áreas: defensa, energía, salud, seguridad, mercados globales.</p> <p>Construcción de mapas de rutas críticas para la obtener objetivos específicos, con plazos y fondos estables.</p> <p>Creación de un Portal Nacional sobre Manufactura Avanzada.</p> <p>Mejoras en la política comercial y en el clima de negocios.</p> <p>Actualización de la política energética.</p> <p>Red de Manufacturing USA creación de 8 institutos de enlace e investigación avanzada.</p> <p>Creación de FabLAB.</p>

Fuente: Elaboración propia, en 2017.

Cuadro III.2

Sistema de manufactura inteligente, capacidades e integración de tecnologías

	Descripción	Flujo de información	Capacidades clave
PLM	Product Life Cycle (gestión de la vida del producto). Es el proceso de gestión del ciclo completo de un producto desde su inicio, mediante el diseño de ingeniería y la fabricación, hasta el servicio y la eliminación.	Flujo bidireccional de información entre el producto y el ciclo de vida del sistema de producción.	Calidad, agilidad y sustentabilidad
SCM	Supplying Chain Management (gestión de la cadena de suministro). La gestión de los flujos de valor agregado —ascendente y descendente— de materiales, productos finales e información relacionada entre proveedores, empresas, revendedores y consumidores finales.	Flujo bidireccional de información entre actores de la cadena de suministro, es decir, manufactureros, clientes, proveedores y distribuidores.	Agilidad, calidad y productividad
DFSCM	Design for Supply Chain Management (diseño para la gestión de la cadena de suministro). Diseño de productos para aprovechar y fortalecer la cadena de suministro.	Flujo bidireccional de información entre actividades de gestión de la cadena de suministro y actividades de diseño de ingeniería.	Calidad y agilidad
CPI	Continuous Process Improvement (proceso continuo de mejora). Es el conjunto de actividades continuas de ingeniería y gestión de sistemas utilizados para seleccionar, adaptar, implementar y evaluar los procesos utilizados para producir productos.	La información fluye desde el sistema de fabricación en tiempo de ejecución hasta el proceso de las actividades de diseño.	Calidad, sustentabilidad, productividad
CCX	Contact Centers Express. Proceso continuo de diagnóstico, pronóstico y mejora del rendimiento de sistemas de producción.	Información bidireccional entre actividades de ingeniería de producción y actividades de operación de producción.	Productividad, agilidad, sustentabilidad y calidad.
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly (diseño para manufactura y ensamblaje). El diseño para facilitar la fabricación de las piezas y el diseño del producto para facilitar el ensamblaje.	La información fluye de ingeniería de producción y actividades de operación a las actividades de diseño de producto.	Productividad y agilidad.
FMS/RMS	Flexible Manufacturing System/Reconfigurable Manufacturing System (sistema flexible de manufactura/sistema de manufactura reconfigurable). Las máquinas son flexibles y pueden ser configuradas para cambiar el volumen de producción o nuevos tipos de producto con o sin un cambio en los procesos.	La información fluye desde las actividades de ingeniería de productos a la producción de estas.	Agilidad.
Pirámide de manufactura	La naturaleza jerárquica de los sistemas existentes de manufactura ilustrados en una pirámide de tres niveles que incluyen ERP, MoM y shop floor.	Flujo bidireccional entre ERP, actividades MoM y sistemas de control.	Calidad, agilidad, productividad y sustentabilidad
Ciclo rápido de innovación	Para mejorar el ciclo de introducción de nuevos productos se anticipan tendencias a través de la recolección de datos del uso del producto y generando retroalimentación al área de ideación del producto.	La información fluye del uso del producto al diseño de éste.	Calidad y agilidad

Fuente: Lu, Y., K. C. Morris y S. Frechette (2016), "Current standards landscape for smart manufacturing systems", National Institute of Standards and Technology NIST.

Bibliografía

- ALMMII (2017), "America lightweight materials manufacturing innovation institute" [en línea] <http://almmii.org>.
- America Makes (AM) (2017), "Our work", *America Makes; national additive Manufacturing Innovation Institute* [en línea] <https://americamakes.us/>.
- Brissaud, D. y S. Tichkiewitch (2001), "Product models for life-cycle", *CIRP Annuals-Manufacturing Technology*, vol. 50, núm. 1, pp. 105-108.
- Deloitte (2017), "Manufacturing USA. A third-party evaluation of Program Design and Progress" [en línea] <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-manufacturing-USA-program-and-process.pdf>.
- DMDII (2017). "Digital Manufacturing & Design Innovation Institute", *UI LABS* [en línea] <http://www.uilabs.org/innovation-platforms/manufacturing/>.
- Executive Office of the President, President's Council of Advisors on Science and Technology (2011), "Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing" (Washington Executive Office of the President [en línea] <https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>).
- Ezell, S. y R. Atkinson, (2011), "The case of a national manufacturing strategy", *The Information Technology & Innovation Foundation*, abril..
- Ezell, S. J. (2016), "A policymaker's guide to smart manufacturing", *Information Technology and Innovation Foundation*, Washington.
- Hart, D. M., S. J. Ezell, R. D. Atkinson (2012), "Why America needs a national network for manufacturing innovation", *ITIF*, Washington [en línea] <http://www2.itif.org/2012-national-network-manufacturing-innovation.pdf>.
- Lu, Y., K. C. Morris y S. Frechette (2016), "Current standards landscape for smart manufacturing systems", *National Institute of Standards and Technology NIST* [en línea] <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2016/NIST.IR.8107.pdf>.
- Manufacturing USA (2017), "Manufacturing USA" [en línea] <https://www.manufacturingusa.com/>.
- Manyika J. *et al.* (2015), "The internet of things: Mapping the value beyond the hype", *McKinsey Global Institute*, vol. 68 [en línea] http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx.
- Molitch-Hou, M. (2014), "GE announces the launch of mass 3D printing facility", *3D Printing Industry* [en línea] <https://3dprintingindustry.com/news/ge-announces-launch-mass-3d-printing-facility-29909/>.
- Monell, D. W. y W. M. Piland (2000). "Aerospace systems design in NASA'S collaborative engineering environment", *Acta Astronautica*, vol. 47, pp. 255-264.
- NIST (2013), "Foundation for innovation in cyber-physical systems", *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, [en línea] <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/CPS-WorkshopReport-1-30-13-Final.pdf>.
- Library of Congress (2012), *North American Energy Security and Infrastructure. Act of 2016 S. 114th Cong.* [en línea] <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/senate-bill/2012/text/es?q=%7B%22search%22%3A%5B%22s+2012%22%5D%7D&r=1#toc-id6c24d200f4f549699273baa5611dd335>.
- PCAST (2011), *Report on the intersection of the nation's ecosystems and the economy*, The White House [en línea] http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_sustaining_environmental_capital_report.pdf.
- Tao, F., Y. J. Laili, L. Zhang, Z. H. Zhang y A. Y. C. Nee (2014), "QMAEA: A quantum multi-agent evolutionary algorithm for multi-objective combinatorial optimization" *Simulation*, vol. 90, núm. 2, pp. 182-204.
- Tapscott, D. (2013), "Introducing: Global Solution Networks. Understanding the New Multi-Stakeholder Models for Global Cooperation, Problem Solving and Governance", *Global Solution Networks*, [en línea] <http://gsnetworks.org/wp-content/uploads/Introducing-Global-Solution-Networks.pdf>.
- Tate, P. (2013), "Are digital tools the future of manufacturing innovation?", *Manufacturing Leadership (Frost & Sullivan)* [en línea] <http://www.gilcommunity.com/blog/are-digital-tools-future-manufacturing-innovation/>.

A. El rápido crecimiento del ecosistema digital en China

La integración de la revolución de las tecnologías informáticas ha desencadenado transformaciones industriales de gran alcance y nuevos métodos de producción, patrones industriales, modelos comerciales, crecimiento económico y transformación de la estructura institucional y formativa de los países industrializados. China no está ajena a estos cambios. Desde 1999 bajo el lema “Going Global” incentivó la inversión en el exterior de sus empresas para aprovechar las ventajas de la globalización. Con el desarrollo de nuevos tipos de industrialización, urbanización y modernización agrícola se reactivó una demanda interna deprimida que estimuló la fabricación en China. La demanda aumentó en muchos sectores, desde equipos industriales hasta consumo privado, servicios públicos, lo que requiere una mejora rápida de las tecnologías de fabricación y de la innovación, pero también mejorar la calidad y dar más seguridad en los productos básicos conjuntamente con una infraestructura adecuada. El aumento de las adquisiciones chinas en el extranjero durante la última década responde a la decisión estratégica de los grupos locales de expandirse para abrir nuevos mercados y acceder a la tecnología avanzada (Wübbeke y Conrad, 2015; Xia, 2016).

Después de décadas de rápido crecimiento, la escala de fabricación en China es significativa, pues se persigue el lema “hecho y diseñado en China”; con avances importantes como el lanzamiento de naves espaciales y drones, la producción de aviones, el lanzamiento del sistema de navegación por satélites en órbita geoestacionaria Beidou, juntamente con la construcción de trenes de alta velocidad e instalación de equipos de perforación petrolera a miles metros de profundidad.

Hace varias décadas las compañías europeas iniciaron *joint ventures* con grupos chinos, aunque las primeras no aportaron las tecnologías más avanzadas por temor a que sus socios chinos las copiaran. Ahora la política y el nuevo papel que ocupa China en el mundo cambió, las compañías de ese país deciden comprar empresas occidentales, para superar el déficit de tecnología digital y mejorar la producción. En 2016, China gastó 46.000 millones de dólares para adquirir compañías en Europa (Alemania y Reino Unido han sido los destinos favoritos), aunque recientemente se ha adquirido la multinacional suiza Syngenta, mientras que con Estados Unidos y Canadá la cifra se eleva a 48.000 millones (Fernández, 2017). Esto ha llevado a algunos gobiernos, como el alemán, a bloquear compras por motivos de seguridad. En la visita del premier Li Keqian a Alemania en 2014 se acordó la colaboración de Alemania-China para la innovación, especialmente dirigida a la Industria 4.0 (I4.0.) La política de apertura del país contribuyó a crear grupos con actividades intensivas en conocimiento y más cadenas de valor internacional, aunque a nivel político pesaba el temor de la dependencia del país en las tecnologías extranjeras.

B. La construcción del futuro en sectores de conocimiento intensivo

A fines de 2014 el presidente de la academia de ingeniería planteó el Plan General de China 2025, que constituyó una estrategia de desarrollo para la fabricación en ese país. En el 2015 el gobierno lanza la iniciativa *Made in China 2025*, con la intención de fortalecer el sector manufacturero, apostando por la manufactura inteligente y la consolidación de la I4.0, con el objetivo de volverse líder en el 2050. De acuerdo con el anuario estadístico emitido por la República Popular de China, su sector industrial (excluyendo la construcción) representa actualmente 31,6% del valor agregado bruto. Sin embargo, las instalaciones manufactureras fueron responsables de 69,8% del consumo total de energía en el 2012. Ese mismo año, 66% de toda la energía provenía del carbón y 18,4%, del petróleo. Las cifras ofrecen información sobre la contribución de las fuentes industriales en todas las emisiones. La contaminación del aire es un problema crucial para el país. En el 2013, ninguna de las más de treinta ciudades clave encuestadas cumplieron con los estándares anuales de calidad del aire establecidos por la Unión Europea, un hecho que refleja los inmensos requerimientos energéticos del sector industrial chino (Beier *et al.*, 2017).

Las metas estratégicas de crecimiento de *Made in China* se plantearon en cuatro pasos:

- En 2020 haber alcanzado la fabricación digital. Por ello, la idea es dominar el núcleo básico tecnológico (digitalización, redes e informatización); mejorar la calidad de los productos, y disminuir el consumo de energía y las emisiones contaminantes de las principales industrias. Para 2020 se plantea contar con 40% de suministros clave provenientes de fuentes nacionales, con el objetivo de remitir gradualmente los problemas en la cadena de valor.
- En 2025 el interés será mejorar la calidad general de la fabricación, la capacidad de innovación juntamente con una mayor productividad. Apoyar el desarrollo de clústeres y empresas multinacionales con competitividad internacional.
- En el año 2035, la fabricación china alcanzará un nivel intermedio entre las potencias manufactureras mundiales. Continuando las mejoras de calidad y la digitalización de la producción, la consolidación de talentos para conducir los procesos, a través de mecanismos pragmáticos para capacitar personal de dirección y administrativo que pueda satisfacer las demandas de la fabricación moderna.
- Para el 2050, en el centenario de la fundación de la nueva China, el sector manufacturero se consolidará para convertir a este país en un líder entre los industrializados (Li, 2017).

China estima que la I4.0 podría aumentar la productividad entre 25 y 30% y reducir 60% las pérdidas de producción imprevistas. La inversión en automatización y digitalización pone las bases para una nueva industrialización en el país; cabe destacar que la inversión en la industria manufacturera se ha duplicado desde 2005, convirtiendo a China en el más grande productor de robots industriales, que, en su mayoría, estarán en uso este año. Además, el mercado de productos RFID (Radio Frequency Identification), sensores y sistemas de *software* integrados están en auge (Wübbeke y Conrad, 2015).

El patrocinio estatal es integral y cubre casi todas las ramas de la industria, aunque es prioritario el desarrollo de la industria aeroespacial, la fabricación de maquinaria para la industria y la manufactura de automóviles. También se han organizado diferentes grupos de trabajo para estudiar estándares para la automatización e interfaces entre las tecnologías informáticas. El modelo de I4.0 se plantea en un momento oportuno para

China, no solo por competitividad de la producción, sino por las propias exigencias de la sociedad china, cuyo crecimiento se asocia a condiciones ambientales altamente contaminantes y a la búsqueda de nuevas soluciones de movilidad sostenible para megaciudades como Beijing y Shanghái con necesidades de soluciones innovadoras en la producción y la movilidad.

En la estrategia industrial Made in China 2025 la industria 4.0 se vuelve mucho más que un concepto a desarrollar implica una estrategia de asociación integral con otros países para actualizar el calendario de reindustrialización del país. En cualquier caso, la colaboración con grandes compañías como ABB, Cisco, IBM, GE, puede favorecer a China. El problema radica en la pérdida de datos confidenciales, que pueden ir de la mano con la I4.0. La manufactura inteligente significa reunir grandes volúmenes de datos, sobre procesos de fabricación que se mantienen en la nube, datos corporativos internos, información sobre proveedores y socios, lo que se convierte en un problema de seguridad. Por esta razón las empresas foráneas tienen muchas reticencias de entrelazar flujos de datos con China.

El Tercer Censo Económico Nacional ha revelado que el tamaño de la manufacturación de alta tecnología de China se ha expandido continuamente, el gasto de investigación y desarrollo se incrementó, la capacidad de innovación mejoró continuamente y la proporción de los ingresos por ventas de nuevos productos subió gradualmente. Para finales del 2013 había 26.894 empresas manufactureras de alta tecnología en China, un incremento de 1.077 comparado con el 2008. Las empresas manufactureras de alta tecnología ocuparon el 7,8 por ciento de todas las empresas manufactureras, más de 1,3 puntos porcentuales comparado con el 2008 (The National Economic Census, 2016). Según la misma fuente, las empresas absorbieron más empleados. En el 2013 había 12.937 millones de personas empleadas por empresas manufactureras de alta tecnología, un 36,9% más comparado con el 2008; el número de personas empleadas por las empresas manufactureras de alta tecnología ocuparon el 15,1% de las personas empleadas por todas las empresas manufactureras, 2,9 puntos porcentuales más comparado con el 2008. En el 2013, los ingresos de las principales actividades de las empresas manufactureras de alta tecnología quedaron en 11.604.89 billones de yuanes, estos ingresos significaron un 12,8% de todas las empresas manufactureras, logrando un crecimiento de 0,8 puntos porcentuales en comparación con las cifras del año 2008.

El 19 Congreso que se celebró en octubre consagró a Ji Jinping como el líder máximo. En la estrategia a seguir, definida como el socialismo con características chinas para una "nueva era", se afianza la idea de una China convertida en superpotencia, donde el PC seguirá con el control de la sociedad, permitiendo el pluralismo político y religioso. La consolidación de China como superpotencia exige el desarrollo de la economía digital en el país. Por ello, se enfatizó la cooperación para consolidar esta área entre Europa, África, Asia y América Latina con la intención de acelerar la aplicación de *big data*, la computación en la nube y las ciudades inteligentes. El proyecto estrella ratificado en varias reuniones internacionales es la Nueva Ruta Digital de la Seda, centrada en la cooperación científica y tecnológica, que prevé redes de infraestructuras que conectarán toda Asia y Europa con China. Otro hito que habla de cierta apertura para asegurar el crecimiento en múltiples sectores, no solo el industrial, es el reciente plan para rebajar y eliminar los límites al capital foráneo en los bancos, aseguradoras y gestoras de fondos, futuros y valores. La medida permitirá a las empresas extranjeras (que hasta ahora han jugado como actores marginales en el país), competir de igual a igual con rivales locales. La cuota de mercado actual de los bancos extranjeros en China no alcanza 2% (Fontdeglória, 2017). El discurso político enfatiza una mayor informatización de la sociedad china, paralelamente se aumenta la seguridad cibernética y un sistema extensivo de vigilancia y manipulación de internet.

C. Las necesidades no resueltas para apropiarse de la tecnología

La industria manufacturera si bien es un pilar de la economía China ha basado su desarrollo en materias primas, mano de obra barata y otros factores para lograr una ventaja competitiva, esto le permitió convertirse en la mayor economía manufacturera. Sin embargo, si bien su industria es grande, todavía tiene muchos problemas, como la estructura industrial desmesurada, la tecnología relativamente atrasada y un exceso de productos de deficiente calidad, además falta tecnología central, un bajo nivel de informatización, con trabajo intensivo y en el extremo inferior de la cadena industrial (Zhang *et al.*, 2016).

La inversión en I+D de China aumentó del año 2008 al 2012, pero en comparación con Estados Unidos, Alemania, Japón y otras potencias manufactureras, la intensidad de los insumos de financiamiento en I+D es significativamente menor en China. En 2014, el gasto en esos rubros un aumento de 12.4% sobre el año anterior. Pero, a pesar del incremento, el fondo de I+D es aún más bajo que el promedio mundial. La proporción de fondos para la investigación básica es una de las razones en la falta de avances significativos y la innovación fragmentada. Los fondos destinados a investigación y desarrollo son relativamente pequeños para contribuir a la absorción de tecnología producida en el país, aportan más a la compra de tecnología, todas esas condiciones conducen a la falta de innovación de la manufactura en china. (Ju, 2014; Zhang *et al.*, 2016).

La capacidad de la industria manufacturera china para innovar de manera independiente no es sólida. El core tecnológico y los mejores equipos dependen de fuentes externas. El sistema de innovación empresarial tiene aún muchas carencias. Solo tres de cada 10 000 empresas chinas tienen derechos de propiedad intelectual propias para sus tecnologías básicas, partes, componentes y el *software* de sistema depende de las importaciones. En 2013, 80% de los chips se importaron. Las computadoras se han convertido recientemente en el producto más importante comprado a otros países, incluso más que el crudo. (Zhang *et al.*, 2016; Kshetri, 2016a; Lan y Hao, 2015). La gran mayoría de la fabricación de chips de circuitos integrados, de equipos de fabricación de fibra óptica y equipos son importados. El *software* y los equipos de *hardware* de las computadoras están controlados por Microsoft e Intel. Debido a la falta de tecnologías de base, la gran escala de producción de computadoras se concentra en el negocio de procesamiento y ensamblaje. Como resultado, la ganancia final es muy baja. El mismo problema se repite en la industria automotriz. Actualmente China es un gran productor y consumidor de automóviles. El diseño de vehículos, partes e I+D están controlados por Mercedes Benz, GM, Toyota y otras compañías multinacionales. Alrededor de 90% de las exportaciones chinas de productos de alta tecnología son de empresas extranjeras. La cadena de valor superior lo ocupan las empresas multinacionales, mientras que las empresas chinas ocupan los *tiers* más bajos (ensamble y fabricación de piezas).

Por otra parte, los productos fabricados en China tienen ciertas ventajas, pero muchas veces les falta calidad, mientras que los productos de alto valor agregado pertenecen principalmente a empresas extranjeras. La carencia de marcas reconocidas a nivel internacional cuestiona el estatus internacional de China, pues tampoco sus estándares técnicos son altos. En la actualidad los países desarrollados han ingresado en una nueva etapa caracterizada por la tecnología integrada de fabricación e información, así como la aplicación de la digitalización y creación de redes. El líder mundial en fabricación digitalizada es Alemania con el desarrollo y exportación a toda Europa y otros países del modelo Industria 4.0. China no ha alcanzado el mismo nivel, el desarrollo de la informatización es muy desigual de acuerdo con las regiones, los sectores y el tamaño de las empresas. Las grandes y medianas tienen cierto grado de informatización, pero

es relativamente bajo en las industrias textiles y livianas. De acuerdo con la información sobre el desarrollo del servicio económico y social en China durante 2014, la industria de fabricación de equipos significaba un 30.4% del valor industrial, para Estados Unidos este segmento fue de 41.9%, para Japón de 43.6% y para Alemania de 46.4% (*The Statistical Communiqué on National Economic and Social development in China in 2014*, 2015; Shuo, 2015).

D. Aumento de la capacidad de innovación

China está en plena carrera para construir su competitividad global en sectores intensivos en conocimiento con el interés de consolidar su liderazgo mundial en CTI para el 2050. Actualmente supera a la Unión Europea en términos de gasto en I+D como parte del PIB. Actualmente, produce casi el mismo número de publicaciones científicas y cuenta con más PHD en ciencias naturales e ingeniería que los Estados Unidos. En el proceso de formación de capital humano especializado inicialmente se estimuló con una política de formación de talentos en el exterior, en universidades integrantes de la clasificación ARWU, que permitió formación de excelencia y buenas redes internacionales a los estudiantes chinos y al país, ya que la mayoría retorna. Los estudiantes chinos han elegido Estados Unidos como su lugar favorito. En 2012, de acuerdo con datos de la OCDE el gasto bruto en I+D (GERD) fue de 257.000 millones de dólares en China, 397.000 millones en Estados Unidos, 282.000 millones en la Unión Europea, y de 134.000 millones en Japón (OCDE, 2014). Actualmente, en la industria china, se usa intensamente el conocimiento científico y tecnológico, y este país ocupa el segundo lugar detrás de Estados Unidos, en términos de participación en el valor agregado total por la fabricación de alta tecnología, y en servicios intensivos en conocimiento comercial, financiero y de información.

El sistema de innovación exhibe a nivel territorial marcadas disparidades regionales. De acuerdo con la OCDE, Beijing consolidó una importante base científica con una estructura institucional de alto nivel conformada por centros de investigación y universidades de excelencia, con cooperación y conexiones internacionales, incluida la Academia China (CAS). Shanghai cuenta con industrias intensivas en I+D a gran escala, la provincia de Guangdong cuenta con múltiples empresas extranjeras con I+D y con indicadores de registro de patentes. En contraste, las regiones occidentales de China, carecen de capacidad publicitaria para captar los flujos de conocimiento de las áreas costeras. La producción de I+D de China en términos de patentes es aún baja y, aunque las empresas chinas cada vez están más activas en estos ámbitos, las cargas regulatorias y administrativas son muy altas, especialmente en las empresas estatales. El aumento de la capacidad de absorción de conocimientos y desarrollo de talentos no fue un accidente, desde el 2006 con el diseño del China's National Medium and Long term Programme for Science and Technology Development (MLP), como en los sucesivos planes 2011-2015 (12vo. plan) y el de 2016-2020 (13vo. plan) se plasma la ambición por transformar la economía china en un centro de innovación a nivel industrial para el año 2020 y un líder internacional en ciencia e innovación para el 2050. Un grupo selecto de instituciones concentra capacidad de excelencia científica y redes internacionales de intercambio y cooperación. Del conjunto de instituciones de educación superior alrededor de 1.700, correspondiente a 6%, absorbe 70% de los fondos de investigación. De acuerdo con los datos del tercer censo económico, en el 2013 la manufactura de alta tecnología china invirtió 203,43 billones de yuanes en investigación y desarrollo, un 178,2% más alto que en el 2008, y un 8,7 puntos porcentuales más alto que el crecimiento promedio de otras industrias manufactureras. La proporción entre la inversión en investigación y desarrollo y los ingresos de las principales actividades de

la manufactura de alta tecnología fue de 1,75%, un 0,44 de punto porcentual más alto que en el 2008 y 1% más arriba que el promedio de otras industrias manufactureras.

En el 2013, se registraron 74.000 patentes de inventos en la manufactura de alta tecnología, 179% más alto que en el 2008; los ingresos de nuevos productos alcanzaron 3,1 trillones de yuanes, un incremento de 127% comparado con el de 2008.

La participación de China en el desarrollo de investigación aumenta y su contribución se manifiesta en la cuota de artículos publicados en las áreas de computación e ingeniería. La producción de ese país representó más de un tercio de los artículos publicados a nivel mundial, en comparación con 14% de Estados Unidos, y 30% de la Unión Europea como bloque. En química, China produce un cuarto de todos los artículos publicados, en matemáticas la participación es de 18%, en tanto que en ciencias de la vida, biológicas y médicas, el ascenso de China es más lento, y el papel predominante en esta área lo retiene Estados Unidos y la UE (Veugelers, 2017).

Cuadro IV.1

Aumento de la participación de China en áreas científicas

Campo	Proporción de artículos publicados por China, 2013	Publicaciones científicas chinas, tasa de crecimiento anual (2007-2013)
Todos los campos	18,2%	18,9%
Medicina	7,5%	15,0%
Biología	13,9%	14,4%
Química	24,5%	14,8%
Física	19,6%	14,7%
Matemáticas	18,0%	17,8%
Ciencias de la computación	21,1%	25,1%
Ingeniería	34,8%	22,1%

Fuente: R. Veugelers (2017).

Las tecnologías IoT, base de la nueva industrialización, se están integrando en industrias tradicionales como la agricultura y la fabricación (Bughim, Chui y Manyika, 2015), así como en industrias emergentes tales como la energía y los nuevos materiales, de acuerdo con la asociación GSMA, que representa operadores a nivel mundial en el ecosistema de tecnología móvil. En China existían más de cincuenta millones de conexiones máquina a máquina (M2M),² la mayor cantidad en el mundo. Durante 2010-2013 Asia, que es el mercado de IoT regional más importante a nivel internacional, agregó alrededor de 55 millones de conexiones M2M, de las cuales 39 millones se encontraban en China de acuerdo con GSMA y la Academia China de Información y Comunicación Tecnológica (CAICT). A mediados de 2016, China tenía aproximadamente cien millones de conexiones M2M celulares que se espera aumenten a 350 millones en el 2020. (Waring, 2016). La importancia de la computación en la nube, la informática móvil y big data para la industria no radica tanto en la capacidad de proporcionar un cálculo escalable, sino en la prestación de servicios a los que se puede acceder a nivel internacional vía internet. En los esfuerzos de China se están combinando la computación en la nube con los grandes datos, para crear y capturar valor.

² El concepto máquina a máquina se refiere al intercambio de información o comunicación en forma de datos entre dos máquinas remotas. Todo entorno M2M debe contar con: máquinas que se encargan de gestionar la información entre ellas, los dispositivos M2M que se conectan a una máquina remota y proveen de comunicación al servidor, el servidor que gestiona el envío y la recepción de la información, y la red de comunicación por cable o a través de redes inalámbricas. Son procesos que reducen tiempo y costo, además de ampliar servicios.

El rápido crecimiento de las tecnologías básicas para el apoyo de la digitalización (*cloud computing*, *big data*) dependen de las iniciativas asumidas a nivel público y privado (Sampler, 2015). Las grandes empresas como Alibaba, Baidu, Tencent y los proveedores de telecomunicaciones como China Mobile, China Unicom, China Telecom han invertido mucho en la formación de centros de datos (IDCs). En 2014 el grupo Lenovo anunció una inversión de 48,7 millones de dólares para construir cincuenta proveedores de servicios en la nube. Aliyun y Tencent's Qcloud están dirigiendo el mercado de servicios empresariales en la nube (Kshetri, 2016a). El sector público contribuyó con inversiones masivas en la industria digital (*cloud computing*) que facilitó el desarrollo. Para 2013 se habían creado más de cuarenta proyectos sobre tecnología en la nube, como componentes clave del doceavo plan de cinco años lanzado en 2011. Solo la ciudad de Beijing ha recibido más de 8000 millones de dólares para apoyar proyectos en la construcción de servidores y obras de infraestructura (Huang, 2012; Larson, 2013). Además, los gobiernos locales han contribuido a desarrollar parques de computación en la nube para apoyar los centros de datos (Atkinson, 2014).

El próximo cuadro siguiente plantea la expansión e importancia de la tecnología *cloud computing* (CC) en el mercado chino, cuyos impactos tienen múltiples dimensiones económicas, ambientales, sociales, educativas, de seguridad alimentaria, entre otros.

Cuadro IV.2

Áreas de aplicación de *cloud computing*

Aplicación en la nube	Empresa/región	Explicación
Mejora la eficiencia con e-comercio/e-business	Alibaba	Atrajo a los vendedores a sus sitios web de comercio electrónico Taobao y Tmall. com promocionando su gran publicidad basada en datos, en la nube y en otros servicios que brindan información sobre las preferencias de los compradores.
Desarrollo de productos nuevos o mejorados/servicios	La ciudad de Ningbo	IBM participa para desarrollar el Centro de Logística Inteligente en la nube para optimizar la cadena de suministro del puerto. El sistema permitirá a las 5000 empresas de logística compartir datos. Conectar cada vehículo de envío con un rastreador GPS ha llevado a la reducción de los tiempos muertos de los camiones. Una empresa de camiones informó una disminución de 80% en el tiempo de inactividad.
Extensión del alcance del mercado	Baidu	Utiliza la inteligencia artificial basada en la nube en el sistema publicitario para identificar cualidades de un anuncio que hacen que la gente haga clic.
e-salud	Hospital Nube de Ningbo	Marzo de 2015: comenzó a operar el primer hospital virtual basado en la nube en China. Su plataforma de coordinación de la salud incluía cien instituciones médicas primarias y 226 especialistas y médicos familiares. Tiene cuatro clínicas para la hipertensión, la diabetes, el asesoramiento psicológico y la medicina familiar.
	Baidu	Introdujo la nube de salud Jiankangyun en julio de 2014, que usa la nube y el <i>big data</i> para ofrecer evaluaciones previas al diagnóstico. Una plataforma de computación en la nube recolecta, almacena y analiza los datos obtenidos de dispositivos inteligentes capaces de proporcionar servicios de consultoría para mantenerse saludable y hacer uso de tecnologías de salud.
e-educación	Poder supercomputacional/ Acceso a recursos educativos	Analizar datos sobre patrones de propagación de enfermedades y cambio climático. Las universidades chinas se encuentran entre las instituciones educativas que participan en IBM Cloud Academy, que permite el acceso a una gama de recursos educativos.
e-medio ambiente	Gobierno municipal de Beijing	Julio de 2014: el gobierno municipal de Beijing y la empresa IBM firmaron un acuerdo para hacer uso de las últimas tecnologías de predicción meteorológica avanzada y de la nube para resolver los problemas de contaminación que rodean la ciudad. Las tecnologías de IBM harán optimizaciones y ajustes para hacer un mejor uso de las fuentes de energía renovables. En un proyecto implementado en la provincia de Hebei, el despliegue de la oferta y la demanda de IBM llevó a una reducción del desperdicio de energía de 30% a 20%.

Fuente: N. Kshetri (2016ab).

Bibliografía

- Atkinson, R. D. (2014). "ICT innovation policy in China: A review," *The Information Technology & Innovation* [en línea] www.itif.org/2014/07/ict-innovation-policy-china-review.
- Beier, G., S. Nielhoff, T. Ziems y B. Xue (2017). "Sustainability aspects of a digitalized industry — A Comparative Study from China and Germany," *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, vol. 4, núm. 2, pp. 227-234.
- Bughim, J., M. Chui y J. Manyika (2015), An executive's guide to the internet of things [en línea] http://www.mckinsey.com/Insights/Business_Technology/An_executives_guide_to_the_Internet_of_Things?cid=digital-empl-alt-mip-mck-oth-1508.
- Decideo (2017). "China Unicom y Telefónica," [en línea] www.decideo.com/china-Unicom-y-Telefonica 8/11/2017.
- El Financiero* (2017), "Bancomext busca atraer inversión china," *El Financiero*, 10 de noviembre [en línea] <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/bancomext-busca-atraer-inversion-china.html>.
- Fernández, D. (2017). "El apetito voraz de China por empresas occidentales enciende las alarmas," *El País*, 21 de octubre [en línea] https://elpais.com/economia/2017/10/20/actualidad/1508512386_317878.html.
- Fontdeglória, X. (10/11/2017). "China abre su sector financiero a la inversión extranjera," *El País*, 10 de noviembre [en línea] https://elpais.com/economia/2017/11/10/actualidad/1510301286_038266.html.
- Huang, R. (2012), *VMware taps China's 5-year economic plan* [en línea] <http://www.zdnet.com/cn/vmware-taps-chinas-5-year-economic-plan-7000003375>.
- Ju, P. (2014), "China manufacturing industry should take the road of parallel development of Industry 2.0, 3.0, 4.0," *Journal of World Science*, vol. 6.
- Kshetri, N. (2016a), "Institutional and economic factors affecting the development of the Chinese cloud computing industry and market," *Telecommunications Policy*, vol. 40, pp. 116-129.
- Kshetri, N. (2016b). "The evolution of the Internet of things industry and market in China: An interplay of institutions, demands and supply," *Telecommunications Policy*, vol. 41, pp. 49-67.
- Lan, X. y M. Hao (2015), *China and intellectual property rights since joining the WTO*, en W. Luolin (ed.), *China's WTO accession reassessed*, China, Development Research Foundation.
- Larson, C. (2013), Will cloud computing in China be a boon or peril for business? [en línea] <http://www.businessweek.com/articles/2013-09-10/will-cloud-computing-in-china-be-a-boon-or-peril-for-business>.
- Li, L. (2017), "China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of 'Made-in-China 2025' and 'Industry 4.0' ", *Technological Forecasting & Social Change*, pp. 1-9.
- OCDE (2014), "China: rumbo a superar a la UE y EUA en gasto en ciencia y tecnología, dice la OCDE" [en línea] <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/china-rumbo-a-superar-a-la-ue-y-eua-en-gasto-en-ciencia-y-tecnologia-dice-la-ocde.htm>.
- Sampler, J. (2015), *Clouds over China* [en línea] <http://www.forbes.com/sites/ceibs/2015/02/04/clouds-over-china/>.
- Shuo, H. (2015), Exploring the New Future of Chinese Manufacturing-The Enlightenment of German Industry 4.0 to the Development of Chinese Manufacturing Industry," *Journal of China Collective Economy*, vol. 6, febrero.
- The National Economic Census, (2016), "Economic Census (2012, 2007, 2002)," *The National Economic Census* [en línea] <https://www.census.gov/data/developers/data-sets/economic-census.html>.
- The Statistical Communique on National Economic and Social Development in China in 2014* (2015) [en línea] http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201502/20150226_685799.html.
- Thibodeau, P. (2013), "China passes Japan to become world's 2nd largest IT market. Computer world," 4 de diciembre [en línea] <http://www.computerworld.com/article/2486456/it-management/china-passes-japan-to-become-world-s-2nd-largest-it-market.html>.
- Veugelers, R. (2017), "The challenge of China's rise as a science and technology powerhouse," *Policy Contribution*, vol. 19, pp. 1-15.
- Waring, J. (2016), *China's IoT market to top 1B connections by 2020* [en línea] <http://www.mobileworldlive.com/asia/asia-news/chinas-iot-market-to-top-1b-connections-by-2020/>.
- Wübbecke, J. y B. Conrad (2015), "'Industrie 4.0': Will German technology help China catch up with the West?," *China Monitor*, vol. 23, pp. 1-10.
- Xia, J. (2016). "Convergence and liberalization in China's ICT sector: New market and new ecosystem," *Telecommunications Policy*, vol. 40, pp. 81-88.
- Zhang, X., W. Peek, B. Pikas y T. Lee (2016), "The transformation and upgrading of the Chinese manufacturing industry based on German Industry 4.0," *Journal of Applied Business Economics*, vol. 18, núm. 5, pp. 97-105.

A. La Comunidad Autónoma del País Vasco: de los clústeres al impulso pleno de la fabricación inteligente

En los años noventa, marcados por el proceso de integración europea, uno de los elementos relevantes fue el inicio de la política de desarrollo y apoyo de clústeres liderada por el gobierno de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) basada en la colaboración público-privada. Esta política articuladora de la actividad industrial ha transitado con continuidad por diferentes fases y hoy es el fundamento del tejido productivo de la nueva industrialización digital. La política de clúster de la CAPV también ha tenido que adaptarse a los cambios del entorno y a la apuesta por las estrategias de especialización inteligente. A lo largo de veinticinco años de vida, los clústeres han mantenido constante su base fundamental, pero ha experimentado importantes cambios. En el periodo 2008-2012 se amplió el apoyo a nuevas asociaciones —denominadas preclústeres—, que deseaban trabajar con metodología de clúster; al mismo tiempo, se reconocieron con más profundidad las nuevas oportunidades de crecimiento que emergieron en las intersecciones entre clústeres, con iniciativas para fomentar una mayor colaboración transversal. En el periodo 2013-2016, los cambios están influenciados por las exigencias asociadas con la introducción de “Estrategias Regionales de Especialización Inteligente (RIS3)” surgidas en el 2013 como una vía para focalizar la asignación de los fondos de cohesión de regiones, con impactos en la investigación, la innovación y el desarrollo económico. La metodología RIS3 otorga un carácter tractor a las empresas, centros de investigación y universidades a la hora de identificar las prioridades estratégicas. La iniciativa Vanguard es un ejemplo de esta política, constituye una red de regiones europeas orientada a la cooperación para fomentar las respectivas capacidades tecnológicas e industriales, canalizadas en proyectos pilotos que abarcan: i) fabricación inteligente para aplicaciones energéticas en entornos hostiles, (liderado por SPRI y el clúster de Energía vasca) ii) bioeconomía, iii) fabricación eficiente y sostenible, iv) producción de alto rendimiento mediante fabricación aditiva, v) nuevos productos a partir de la nanotecnología.

El papel de los clústeres fue decisivo (Gobierno Vasco, 2015; Aranguren, M. J. *et al.*, 2016) en los procesos de aplicación de la estrategia de investigación e innovación inteligente, donde se afirmó la necesidad de contar con enfoques diferenciados de acuerdo con la densidad de redes y consolidación de los tejidos productivos. Los cambios también se manifestaron en la gestión organizativa de los clústeres, que trasladó la gestión del Gobierno Vasco a la Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial (SPRI), cuya experiencia y capacidad en la gestión de otros programas de desarrollo empresarial permitió reforzar sinergias sectoriales. Los cambios que se emprendieron desde entonces han tratado de basarse en las recomendaciones específicas realizadas en las diferentes evaluaciones aplicadas a los clústeres. Por ejemplo, se tomó en cuenta la necesidad de mejorar la supervisión, la evaluación y, consecuentemente, diseñar respuestas de políticas selectivas adecuadas al nivel de desarrollo y madurez de los distintos clústeres y asociaciones, que acentuarán la colaboración entre ellos, en especial en torno a la integración las tecnologías facilitadoras (micro y nanoelectrónica, nanotecnología, biotecnología industrial, materiales avanzados, fotónica, tecnologías de fabricación avanzada).

Cuadro V.1
Panorama de las asociaciones clúster de la CAPV en 2017

Asociación clúster	Actividad económica	Facturación por asoc. (Millones de €)	Exportaciones (Millones de €)	Número de empresas	Número de empleados
HEGAN: Sector aeronáutico espacial vasco	Aeronáutica espacial del País Vasco	906	574	45	4 225
Clúster de Alimentación	Alimentación de Euskadi	1 639	307	72	5 234
ACICAE: Clúster de Automoción de Euskadi	Automoción	148 000	13 300	120	24 102
Basque Health Cluster	Biosalud	361	103	32	1 611
ERAIKUNE: Clúster de la Construcción	Construcción	1 567	318	67	6 586
EIKEN: Basque Audiovisual & Digital Conten	Contenidos digitales	792	21	126	6 085
Clúster de energía	Energía	43 998	10 584	352	13 348
MAFEX: Asociación Ferroviaria Española	Equipos ferroviarios	1 800	1 450	34	11 700
Asociación de fundidores del País Vasco y Navarra	Fundición	1 206	809	55	7 188
HABIC	Hábitat, madera, oficina y contract.	1 320	457	115	5 585
Foro marítimo vasco	Industrias Marítimas	2 645	1 952	238	12 720
ACLIMA: Asociación Clúster de Industrias de Medio Ambiente de Euskadi	Medioambiente	1 818	400	90	4 700
Asociación Clúster del papel de Euskadi	Papel	1 043	554	33	2 190
SIDEREX	Productos e instalaciones siderúrgicas	3 162	1 985	49	13 313
AFM: Advanced Manufacturing Technologies	Máquina-herramienta y componentes	1 370	856	128	5 580
GAIA	TEIC	3 085	1 160	247	11 450
BCLM: Federación de Movilidad y Logística del País Vasco	Transportes, movilidad y logística	22 887	6 846	230	139 629

Fuente: Gobierno Vasco (2017).

La CAPV es una de las pocas regiones europeas que la literatura ha considerado como un sistema regional de innovación “real” (Cooke, Boekholt y Tödtling, 2000), además de ser una de las más avanzadas en la implementación de una estrategia de especialización inteligente. Al fin y al cabo, puede considerarse que tenía una estrategia de este tipo antes incluso de que el término fuera acuñado por la Comisión Europea (Aranguren *et al.*, 2016).

Las fortalezas del sistema regional de innovación vasco se han basado tradicionalmente en varios aspectos, entre los que destacan una densa red de agentes especializados en conocimiento y tecnología, cuyo entramado se ha ordenado en torno a la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación (RVCTI); una cultura de cooperación público-privada, cuya máxima expresión se materializa en los clústeres, las políticas clúster existentes en la CAPV desde los años noventa; constituye una apuesta continuada de las administraciones en la región no solo por la industria, sino por la I+D (es una de las regiones de Europa con más incentivos a estas áreas) (OCDE, 2011b); dotada de recursos y agentes propios desde el comienzo de siglo, con un gran apoyo público (Magro y Navarro, 2016). Estos elementos han conseguido que la CAPV se sitúe como la única región española clasificada como “innovador fuerte” por el *Regional Innovation Scoreboard 2016* de la Comisión Europea. No obstante, tal y como se pone de manifiesto en anteriores informes de competitividad publicados por Orkestra (2015, 2017) en la región no existe todavía una relación equilibrada entre el gasto en I+D y los resultados de dicho proceso, aunque paradójicamente los resultados en términos de competitividad se encuentran en niveles elevados.

B. El plan de industrialización 2017-2020, una reflexión estratégica fundamental

El nuevo Plan de Industrialización 2017-2020 “Basque Industry 4.0” elaborado por la Viceconsejería de Industria del Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras en colaboración con SPRI y el Ente Vasco de la Energía, representa un diagnóstico, una evaluación, reflexión estratégica y de planificación fundamental para guiar las actuaciones del gobierno en materia de política industrial. Además de proporcionar una guía para estructurar y coordinar la labor de promoción industrial de las diferentes áreas del gobierno implicadas. El plan industrial Basque Industry 4.0 está alineado con las directivas de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, con la Estrategia Europa 2020 y con Horizontes 2020 que es el principal marco de financiación de I+D de la UE. La iniciativa Horizontes 2020 tiene como finalidad mejorar las condiciones de acceso al financiamiento destinado a la investigación e innovación, cuenta con un presupuesto de casi 80 000 millones de euros hasta el 2020, 25% más que su antecesor.

El Plan de Industrialización 2017-2020 expone las condiciones para reforzar el ecosistema industrial vasco, concretar el compromiso con la industria como eje central de actuación en materia económica, poner a disposición de las empresas instrumentos de apoyo a la competitividad y facilitar la interacción público-privada (Gobierno Vasco, 2017).

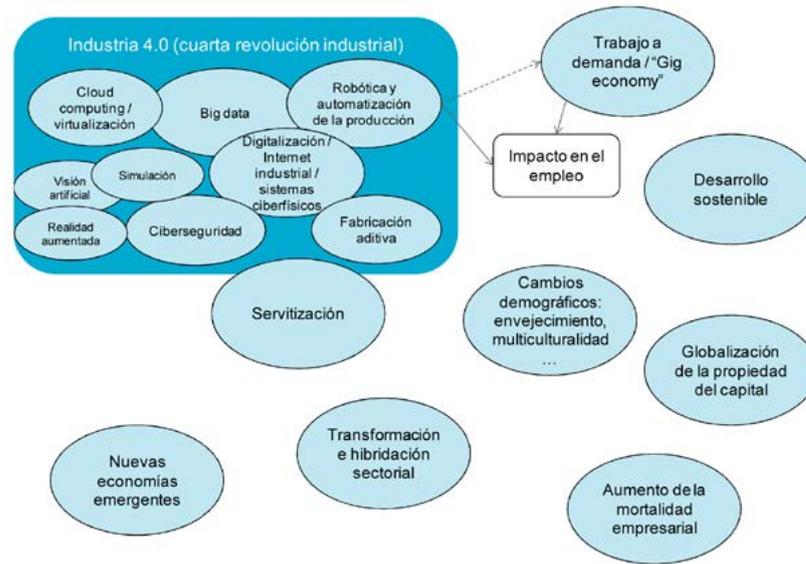
El plan asume plenamente el modelo de Industria 4.0 y expresa a esta como “una industria más competitiva en una economía del conocimiento,” con creación de empleo de calidad, anclaje de actividades productivas en Euskadi y tracción del sector servicios. En la formulación del plan hay un compromiso explícito de acompañar a la industria vasca en la consolidación de la Cuarta Revolución Industrial, como fuente de competitividad y desarrollo del sector de las tecnologías de la electrónica, la información y la comunicación (TEIC) y sectores conexos bajo la estructura organizativa de la clusterización y la especialización inteligente.

El plan industrial, como se destaca en la figura 1, reconoce las nuevas tendencias que ya afectan a la industria que son: la digitalización y servitización asociada a conceptos de internet industrial y los sistemas ciberfísicos. La generación del valor se desplaza de lo que tradicionalmente se consideraba industria, a los datos, y al surgimiento de nuevos ámbitos como la analítica de datos, la computación en la nube o ciberseguridad.

La robótica colaborativa caracterizada por la adaptabilidad y facilidad de interacción con personas y automatización de la producción, la fabricación aditiva y otras tecnologías asociadas con la I4.0, como el trabajo a demanda (gig economy) son una apuesta de internacionalización hacia nuevas economías emergentes y menos exploradas por la industria vasca, como el Sudeste Asiático, Polonia y Nigeria.

Diagrama V.1

Principales tendencias propuestas por el PI, periodo 2017-2020



Fuente: Plan de Industrialización 2017-2020 "Basque Industry 4.0".

El tránsito hacia la I4.0 exige que los agentes que conforman el tejido industrial estén familiarizados con las tecnologías de base, planteadas en la figura V.1, en materia de acceso, capacidad y desarrollo de proyectos de I+D. El tejido industrial del País Vasco dispone de una gran capacidad de integración de diversas tecnologías ligadas a la actividad manufacturera, como automatización o la optimización de procesos, fortalezas desarrolladas en las empresas, en desarrollo ingenieril, además de contar con una buena red de centros tecnológicos y universidades con activa participación en programas de investigación.

El desarrollo de la I4.0 está muy apegado al modelo alemán. Las empresas y los centros tecnológicos participan activamente en investigaciones y fondos proporcionados por la UE, así como en los diferentes programas y redes iniciadas en Europa para la expansión del modelo I4.0, orientado hacia una visión multidisciplinaria en la consolidación del tejido productivo y las competencias. Los sectores fabricantes de bienes de equipo son conscientes de que la evolución tecnológica pasa por la integración de las TIC en sus procesos, 70-80% de sus proyectos de I+D industriales incluyen algún elemento clave de los sistemas básicos, como monitorización remota, que puede evolucionar hacia una oferta de tipo digital y relacional (Navarro y Sabalza, 2016).

La industria vasca busca consolidar la transformación actual a través de la Industria 4.0 y a pesar de la coyuntura favorable actual, se desprenden importantes retos aún no resueltos (Orkestra, 2015, 2017) como:

- Preocupación por la incertidumbre política internacional.
- Dificultades para encontrar personal calificado en algunos sectores.

- Incremento de la presión de los precios, que afecta el margen de ganancia los negocios.
- Mayor competencia por parte de empresas procedentes de países emergentes, que ya no compiten solo en su mercado, sino a nivel global.
- Amplias necesidades de desarrollo tecnológico, tanto en producto como en proceso, incluyendo cuestiones como digitalización, internet de las cosas o *big data*.
- Ralentización de algunos mercados emergentes importantes para las empresas vascas, que están sufriendo las consecuencias de la incertidumbre económica y política mundial.

Ante esta situación, la mayor parte de los sectores y empresas muestran su interés por diferenciar la oferta mediante un aumento de la inversión en I+D y el desarrollo de productos y servicios de mayor valor agregado. El Plan de Industrialización plantea varios ejes centrales: el empleo, la reactivación y la sostenibilidad, recoge las apuestas del gobierno vasco por modernizar el tejido industrial fomentando la digitalización transversal de sectores y nuevos modelos de negocios, consecuentemente asume el cambio en los sistemas educativos acordes con las exigencias de este nuevo escenario, como la formación de talento y la participación de las personas en las empresas, entre otros aspectos.

El Programa Marco por el Empleo y la Reactivación Económica 2017-2020 se centra en crear más y mejor empleo, haciendo suyos dos de los objetivos del Programa de Gobierno: reducir el paro por debajo de 10% y tener 20 000 jóvenes con una oportunidad laboral, la responsabilidad que atañe directamente al Plan de Industrialización es que la industria alcance 25% del PIB de la economía vasca. Además de alcanzar un salto cuantitativo en la I4.0 y la mejora de competitividad en cuanto a la tipología de empresas, sectores y territorios. Los retos del eje transversal Industria 4.0 se orientan a capacitar a las empresas, especialmente a las pymes en gestión avanzada para crecer en la definición y puesta en marcha de proyectos innovadores. La estrategia es reforzar el posicionamiento de Euskadi en la fabricación avanzada o inteligente, logrando la integración de tecnologías facilitadoras, que impulsen la multidisciplinariedad y la convergencia tecnológica para desarrollar capacidades y soluciones de fabricación optimizando los recursos, además de integrarse a cadenas de valor globales (locales e internacionales), impulsar los acuerdos de colaboración públicos-privados para acelerar la industrialización de los resultados de la I+D+i en fabricación inteligente.

Diagrama V.2

Eje transversal. Industria 4.0 (una apuesta estratégica)



Fuente: Plan de Industrialización 2017-2020 "Basque Industry 4.0".

Del cuadro precedente se desprende el interés por la internacionalización empresarial, ya iniciado en las últimas décadas, donde empresas locales impulsaron operaciones de exportación y han evolucionado para convertirse en empresas multilocalizadas con plantas de actividad en Europa, América Latina y el Sudeste Asiático. Las empresas TIC locales, que participan en el mercado como empresas de servicios, encuentran dificultades en el mercado internacional (Navarro y Sabalza, 2016).

El impulso de proyectos empresariales en el ámbito de la I4.0 busca consolidar el papel de los agentes tecnológicos en el desarrollo industrial, para fortalecer los proyectos de cadenas de valor (empresa tractora+proveedores) y apuntalar el apoyo de empresas en dificultades, como potenciar la estrategia de atracción y retención de inversiones, a través de la iniciativa *Invest in the Basque Country* de SPRI. El ajuste entre la oferta y la demanda laboral, a través de una actuación coordinada entre políticas industrial, de educación y de empleo. Estas estrategias funcionan con el acuerdo y la participación de agentes económicos y sociales, donde juegan un papel determinante las asociaciones clúster, el Observatorio de Coyuntura Industrial, el Foro de Competitividad de Euskadi, más las estructuras *ad hoc* que se generen para abordar situaciones especiales.

Cuadro V.2

Líneas e iniciativas del Plan de Industrialización 2017-2020 directamente relacionadas con la Industria 4.0

EJE 1. PYME	<ul style="list-style-type: none"> -Potenciar la formación directiva de pymes, con especial atención a las empresas pequeñas -Sensibilizar a las pymes sobre Industria 4.0 y el potencial de las TEIC a través de SPRI, Empresa Digital y Barnetegi Teknologiko Industry 4.0.
EJE 2. Proyectos estratégicos	<ul style="list-style-type: none"> - Impulsar el desarrollo industrial y tecnológico en ámbitos energéticos de futuro. - Explorar con la industria la oportunidad de poner en marcha nuevos centros de fabricación avanzada que se unan a los existentes de aeronáutica y eólica. - Promover en Euskadi nuevas infraestructuras relacionadas con la gestión de los datos de la Industria 4.0. En particular, poner en marcha el primer centro de ciberseguridad de Euskadi, el Basque Security Operation Center. - Impulsar al menos un nuevo proyecto empresarial en cooperación de referencia en el ámbito de la Industria 4.0, preferentemente en torno a la digitalización y los servicios avanzados vinculados a la digitalización. Barnetegi Teknologiko Industry 4.0. - Buenas prácticas de ciberseguridad industrial. Nueva iniciativa dirigida a generar una base de conocimiento y buenas prácticas sobre seguridad industrial que se vayan desarrollando en los distintos proyectos industriales en el contexto de Basque Industry 4.0 se complementa con la apuesta del PCTI 2020 - Plataforma Basque Industry 4.0. Plataforma tecnológica abierta e interoperable que servirá para aglutinar a los agentes del ámbito de la industria y la ciencia, con los objetivos de identificar tendencias y realizar funciones de promoción y seguimiento de proyectos, desarrollado complementariamente en el PCTI 20200000. - Intensificar la política de atracción y retención de inversión del exterior generadora de empleo, a través de la iniciativa <i>Invest in the Basque Country</i> de SPRI. - Barnetegi Teknologiko Industry 4.0. Programa de formación dirigido a sensibilizar sobre las ventajas y mejoras que la incorporación de las TEIC podría suponer para posicionarse en el nuevo escenario de la Sociedad de la Información y del Conocimiento. Complementado por el PCTI 2020. - Buenas prácticas de ciberseguridad industrial. Nueva iniciativa dirigida a generar una base de conocimiento y buenas prácticas sobre seguridad industrial que se vayan desarrollando en los distintos proyectos industriales en el contexto de Basque Industry 4.0. - Buscar proactivamente proyectos en los ámbitos de especialización RIS3 en países avanzados en innovación y tecnología de Europa, Norteamérica y Asia, buscando específicamente atraer centros de competencia en tecnologías clave de la Industria 4.0.
EJE 3. Tecnología, innovación, industria avanzada	<ul style="list-style-type: none"> - Dar un nuevo impulso a la I+D, en línea con la estrategia RIS3, el PCTI 2020 y el proceso de reordenación de la RVCTI iniciado en la legislatura anterior - Implantar iniciativas estratégicas derivadas del Grupo de Pilotaje de fabricación avanzada. SPRI ha puesto en funcionamiento la red de infraestructuras tecnológicas Basque Digital Innovation Hub, en copropiedad con los Centros I+D, Centros de Formación Profesional y universidades e instituciones públicas regionales, para el desarrollo de proyectos de I+D, escalado de proyectos industriales, aceleración de start ups. - Potenciar la digitalización de la industria vasca, en términos de tecnologías y modelos de negocio. - Fomentar la transferencia de tecnología de I+D en TEICs aplicadas a la fabricación avanzada a través del programa Basque Industry 4.0. - Facilitar a las empresas industriales el acercamiento al cliente y el avance en la cadena de valor, combinando la digitalización con la incorporación de servicios a la oferta, a través de programas existentes (Basque Industry 4.0, Innobideak-Lehiabide). - Impulsar proyectos de cadenas de valor (empresa tractora + proveedores) de digitalización para combatir la brecha digital de las pymes, a priori mediante una adaptación del programa Basque Industry 4.0. - Potenciar los perfiles profesionales relacionados con los servicios avanzados vinculados a la Industria 4.0 (diseño industrial, diseño de servicios, gestión de la experiencia del cliente, etc.), en colaboración con empresas e instituciones educativas. - Homogeneizar el tratamiento que se da en los programas de ayudas a los servicios conexos a la industria. - Establecer acuerdos con regiones punteras: Alemania, como vía de "enganche" con la estrategia Industrie 4.0; y Escandinavia; aprovechando en la medida de lo posible los foros europeos en los que Euskadi ejerce funciones de liderazgo (por ejemplo, Vanguard Initiative). - Facilitar a las empresas vascas el acceso preferente a los programas HADA y Activa 4.0 del Ministerio de Industria. - Programa Industria Digital, cuyo objetivo es apoyar la incorporación de las TEIC en las pequeñas y medianas empresas de carácter industrial manufacturero (herramientas tipo ERP, SCM, CRM, PLM, PLC, SCADA o de mantenimiento preventivo). - Potenciar con decisión la cooperación interempresarial e intersectorial, en línea con la nueva política de clústeres Euskadi 2015-2020. - Fomentar la cooperación interclúster en torno a la Industria 4.0 a través del grupo de pilotaje de manufactura avanzada. - Posicionar a Euskadi como un territorio atractivo para emprender, mediante el Plan Interinstitucional de Emprendimiento (estrategia UpEuskadi) - Facilitar a las start-ups el acceso al mercado, principalmente con el programa Bind 4.0.
EJE 6. Personas formadas y empleo de calidad	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuir desde la política industrial a la búsqueda de una mejor conexión entre la oferta y la demanda de perfiles laborales de la industria. - Generar un discurso que facilite las vocaciones industriales entre la población juvenil (hombres y mujeres), aprovechando los atributos de la Industria 4.0: digitalización (internet industrial, apps industriales, big data, realidad virtual, ciberseguridad), industria de "bata blanca" (ej: fabricación aditiva), industria respetuosa con el medio ambiente, servicios avanzados. - Desarrollar una oferta de formación más especializada y adaptada.

Fuente: Plan de Industrialización 2017-2020 "Basque Industry 4.0", SPRI (2017).

El cuadro anterior confirma el interés por consolidar situaciones aún no dominadas totalmente como las TIC, la ciberseguridad, los flujos de información generados por dispositivos de características tecnológicas muy diferentes, que señala un problema de estándares e interoperabilidad.

1. Gobernanza del plan

El Plan está impulsado por el Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructura (DDEI), gestionado y coordinado por la Viceconserjería de Industria, SPRI (Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial) y EVE (Ente Vasco de Energía). A su vez hay una coordinación con otras áreas del gobierno, como la Viceconsejería de Tecnología, Innovación y Competitividad del Departamento de Hacienda y Economía, Viceconserjería de Transporte y el Departamento de Educación. A la coordinación interdepartamental se agrega otras organizaciones como el Consejo Vasco de Promoción Económica, el Consejo Vasco de Internacionalización, y el Consejo de CTI y las mesas sectoriales estatales y la participación de agentes económicos y sociales (asociaciones clúster, Observatorio de Coyuntura Industrial, el Foro de Competitividad de Euskadi).

El grupo de pilotaje de la I4.0 Tiene la tarea de liderar la implementación de la estrategia Basque Industry 4.0 con el objetivo de definir y aplicar un plan ordenado de actuaciones enfocadas a dar respuesta en el corto y mediano plazo a las prioridades tecnológicas, de negocio, organización y desarrollo de talento. En el grupo tiene representación del Gobierno, la Red Vasca de CTI, clústeres (automotriz, energía, máquina herramienta, TIC-electrónica) y las empresas, participan también SPRI e Innobasque, las alianzas tecnológicas Tecnalía e IK4.

El Plan de Industrialización 2017-2020 se complementa con el plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2020, la Estrategia Energética de Euskadi 2030, el Plan Interinstitucional de Emprendimiento de Euskadi 2020, el Plan de Internacionalización Empresarial 2017-2020, la Agenda Digital de Euskadi 2020, la Estrategia Vasca de Empleo 2020 y Plan Estratégico de Empleo 2017-2020, el Plan de Formación Profesional.

2. La agenda digital 2020

La Agenda Digital 2020 es la estrategia transversal que apoya la interconexión y colaboración de diferentes agentes y sectores para la gestión y desarrollo multidisciplinario de las tecnologías de electrónica, informática y comunicación (TEIC), también fusiona usabilidad, flujo de información en la producción y en los negocios. La digitalización es un factor que tiene capacidad para potenciar otros campos, además de la industria, uno de los objetivos de la iniciativa es impulsar la industria inteligente incorporando las TEIC a la fabricación, cadenas de valor y desarrollando productos, servicios y nuevos modelos de negocios. Además de apoyar la seguridad ciudadana, la sostenibilidad, gestión de infraestructuras, es un campo de convergencia que forma ecosistemas de interacción entre iniciativas y programas y sectores.

C. Aspectos vinculados con la estrategia de fabricación avanzada en el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación

A finales de 2014, fue aprobado el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación (PCTI) 2020, una de las principales aportaciones y novedades del Plan fue la estrategia de especialización inteligente de Euskadi (de acuerdo con la metodología europea RIS3). El PCTI 2020 apuesta por la especialización, la excelencia, la cooperación, la internacionalización y la orientación a resultados del sistema.

La fabricación avanzada es una de las prioridades identificada en los diversos planes de industrialización y en el PCTI tiene una aplicabilidad transversal en un territorio con definida vocación industrial. La investigación esta dirigida hacia sectores industriales relacionados con transporte —concretamente automotriz, aeronáutica, ferrocarrilera y naval—, bienes de equipo y maquinaria, herramientas y de metal. La idea es favorecer la investigación orientada a la incorporación de inteligencia en medios y sistemas de producción, el aprovechamiento de capacidades y tecnologías emergentes en nuevos productos y procesos, la integración de materiales avanzados en soluciones de mayor valor agregado o procesos mejorados, la eficiencia y sostenibilidad de los recursos empleados y la integración de servicios de alto valor.

El plan de CTI tiene como estrategia el fortalecimiento de la colaboración pública-privada para aunar el apoyo de grupos empresariales líderes, bien posicionados en los mercados internacionales con potencial de crecimiento, así como en la capacidad del tejido empresarial para desarrollar modelos y estructuras de colaboración. Los principales ejes de actuación para afianzar el liderazgo industrial son:

- Adquirir masa crítica de recursos en las áreas prioritarias que permitan incorporar el conocimiento y las tecnologías clave, a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno vasco, el grado de introducción de las nanotecnologías y biociencias por las empresas es reducido. La reordenación de los centros de investigación cooperativa (CIC) integrantes de la RVCTI busca responder a la falta de conexión entre el desarrollo de capacidades científico-tecnológicas y la actividad económico-industrial.
- Favorecer la transferencia efectiva de conocimiento entre los agentes de la RVCTI y las empresas, por medio de instrumentos, como: actividades de formación y capacitación del personal de las empresas, desarrollo de proyectos de I+D+i bajo contrato, venta y/o cesión de licencias y patentes, y creación de *spin-offs* y NEBTs (nuevas empresas de base tecnológica).
- Incentivar la compra pública innovadora como elemento tractor del desarrollo tecnológico en determinados sectores estratégicos donde la demanda pública tiene un papel relevante frente a la privada: salud, transporte y seguridad, especialmente (Gobierno Vasco, 2017).
- Reforzar el vínculo entre la política científico-tecnológica y la política clúster. Paulatinamente, bajo los auspicios de programas de la UE, el gobierno vasco y las empresas consolidan alianzas con los centros tecnológicos y instituciones intermedias, para desarrollar dimensiones de investigación, publicación y transferencia como IK4 Research Alliance cuya misión es la generación, captación y transferencia de conocimiento científico-tecnológico para complementar las capacidades tecnológicas de las empresas, con el foco puesto en los resultados a nivel de excelencia, especialización y la implicación con la industria.

D. Redes públicas y privadas de apoyo a la innovación y la fabricación inteligente

La CAPV tiene experiencia en la combinación colaborativa y sinérgica del conocimiento, esta se ha forjado en la formación especializada y actualizada en cada campo, en la colaboración industria-centros tecnológicos estos contactos y redes se multiplican para consolidar perfiles multidisciplinares, soportes del nuevo modelo. A continuación, una descripción de estas redes públicas y privadas de apoyo a la innovación y la fabricación inteligente.

IK4. es una alianza privada de nueve centros tecnológicos con fuerte vinculación con las empresas, esta alianza integra:

AZTELAN. Centro tecnológico dedicado a la investigación, desarrollo e innovación de la industria metalúrgica y metalmecánica, con más de treinta años de historia ofrece servicios a la industria automotriz, al sector eólico, aeronáutico, naval y ferroviario.

CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas). Fundado en 1982 bajo el auspicio de la Universidad de Navarra desarrolló proyectos de investigación aplicada bajo contrato y en colaboración con los departamentos de I+D de las empresas en las áreas materiales, mecánica aplicada, electrónica y comunicaciones, ingeniería ambiental y microsistemas, e ingeniería biomédica.

Fundación CIDETEC. Especializada en la generación y transferencia de conocimiento y tecnología en los ámbitos de los materiales, las superficies y la energía.

Fundación Gaiker. Desarrolla su labor investigadora en I+D en áreas de biotecnología, medio ambiente y reciclado, plásticos y *composites*. También presta servicios tecnológicos avanzados de asesoría y consultoría, planes de innovación y difusión tecnológica.

IDEKO. Sociedad cooperativa que cuenta con un modelo orientado a potenciar la transferencia de los resultados de sus investigaciones al mercado. La actividad gira en torno a la identificación y análisis de oportunidades, el diseño y desarrollo de productos, líneas de negocios y procesos productivos y la resolución de problemas mediante la prestación de servicios tecnológicos basados en equipamiento.

IKERLAN, S. Coop. Ltda. Creada en 1974 se dedica a la innovación y desarrollo integral de productos mecatrónicos y energéticos. Desarrolla también una importante actividad de innovación en procesos de diseño y productos, colabora con las empresas en el desarrollo integral de nuevos productos, desde su conceptualización hasta su industrialización, es socio colaborador de Mondragón Unibertsitatea, y de IK4.

LORTEK. Centro de investigación especializado en tecnologías de unión, busca dotar a la industria de tecnologías y soluciones en procesos de unión cada vez más eficientes, ofrece un servicio de *end-to end*.

Asociación VICOMTECH (Centro de Tecnologías de Interacción Visual y Comunicaciones). Centro de investigación aplicada que trabaja en el área de gráficos por computadora interactivos y tecnología multimedia.

Fundación TEKNIKER. Tiene como misión contribuir a incrementar la capacidad de innovación del tejido industrial para mejorar la competitividad a través de la generación y aplicación de la tecnología y el conocimiento en los campos de mecatrónica, las tecnologías de fabricación y microtecnologías.

1. La Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial (SPRI)

SPRI tiene un activo papel en la implementación de Basque Industry 4.0, además de ser la responsable de atraer y facilitar las inversiones extranjeras por medio del servicio Invest in Basque Industry, contribuye a complementar la estrategia territorial con el conocimiento de mercados y capacidades emprendedoras, es un miembro activo de la estrategia de fabricación avanzada que promueve el posicionamiento y liderazgo en Euskadi como economía de base industrial. Actualmente organiza la red conectada de activos “Basque Digital Innovation HUB” donde se construyó un catálogo de activos, centros tecnológicos, centros de fabricación avanzada, universidades, centros de educación. A futuro se pretende obtener información y asesoramiento; identificación de oportunidades, soluciones y equipos; generación de conocimientos y transferencia a través de nuevas soluciones y equipos, hibridación de procesos y supervisión y control; formación y experimentación a través del servicio de alquiler de infraestructura de fabricación digital, atracción de talento y de nuevas oportunidades internacionales.

2. Red Innobasque

Es una alianza pública-privada donde participa la sociedad civil, es la Agencia Vasca de Innovación creada en 2007 con la intención de convertir a la CAPV como referente europeo en la innovación, en el Plan de CTI 2010 se definió a Innobasque como un instrumento de gestión y órgano de coordinación del Sistema Vasco de Innovación. En 2012 Innobasque consolidaba el rol de Secretaría Técnica del Comisionado del Lehendakari para la CTI, en el nuevo Plan de CTI 2020 se ha diseñado el proceso de evaluación y seguimiento de la estrategia de CTI. Innobasque ha multiplicado las actividades para transformar los modelos de gobernanza enfatizando las redes colaborativas, donde se organizaron diferentes proyectos como: Manumix Interreg Europe para reforzar la efectividad y la eficiencia de la combinación de políticas de evaluación a través de la evaluación y el aprendizaje. Manumix es un consorcio formado con el Piemonte, Lituania y Gales. El consorcio asesorado por Orkestra tiene como tarea aprender sobre las políticas de innovación en fabricación avanzada.

3. Basque Innovation Perception (BIP)

BIP es una encuesta de percepción que recoge la opinión de múltiples expertos en I+D, con la intención de integrar nuevas perspectivas e indicadores que capturen el carácter transversal y multidisciplinario de la innovación. Se espera obtener información cualitativa y rápida sobre la situación y perspectivas de la I+D+i contrastada por el panel de expertos (integrado por empresarios 60%, investigadores 30%, agentes de la RVCTI, colectivo social e institucional 10%, organizaciones sociales y administración pública); complementar el diagnóstico del sistema vasco de CTI basado en el análisis de datos estadísticos y cuantitativos. Conocer la percepción de los miembros del sistema sobre debilidades y fortalezas de este. En 2017 se publica el Informe BIP 2016 identificando cuatro problemas críticos: la capacitación de los jóvenes para la carrera de investigadores, la financiación privada para I+D+i, el impulso de la innovación no tecnológica y la penetración de las Ket (*key enabling technologies*) y TIC en las pymes, y la eficiencia del conjunto del RVCTI. Entre los agentes científicos-tecnológicos más relevantes se destacaron Tecnalia, IK4, UPV percepción compartida por todos los colectivos participantes.

4. Red iNNvest

Es una red de inversores que promueve negocios innovadores facilitando a los emprendedores el acceso a recursos financieros, tecnológicos e industriales con el fin de multiplicar sus posibilidades, los proyectos están dirigidos a impulsar la fabricación avanzada, biociencias, salud y tecnologías limpias. Las corporaciones empresariales que integran esta red son CAF, Iberdrola, Irizar, Mondragón, Repsol y Velatia, los inversores privados son Caixa Capital Risc, DeMeter, Orza y Talde capital de riesgo. Los inversores tecnológicos son Ibermática, IK4 Research Alliance, Tecnalia Ventures, los inversores institucionales, Seed Capital Bizkaía y Gestión de Capital de Riesgo del País Vasco (SGEGR). Las ventajas que ofrece la red a los emprendedores son:

- Conectar inversores, financiadores y promotores.
- Simplificar a los emprendedores el acceso a una amplia red de inversores.
- Asegurar la continuidad de las inversiones a través de los distintos estadios del proyecto empresarial
- Ofrecer a los emprendedores un *feedback* calificado por parte de expertos e inversores.
- Facilitar la coinversión entre inversores y financiadores de distintos perfiles (tecnológicos, financieros y público-privados).

5. Tecnalia Research and Innovation (TRI)

TRI es un centro privado de investigación aplicada con sede en el CPVA, Francia, Italia y Serbia. En el 2011 la Corporación Tecnológica Tecnalia pasa de ocho socios a tres integrada por AZTI-Tecnalia, NEIKER Tecnalia y TECNALIA Research & Innovation, tienen un modelo basado en unidades de negocios sectoriales: con una gran transversalidad para abordar soluciones a los retos complejos de la sociedad en cuanto a la sostenibilidad, la digitalización, la salud, la competitividad de las empresas en un escenario de globalización y conservación de los recursos naturales. A nivel de la manufactura avanzada se especializa en robótica flexible, 3D, nuevos materiales, ciberseguridad, *big data analytics*, *cloud computing*, sistemas de monitorización, diagnosis y prognosis, materiales avanzados para la industria automotriz y aeronáutica que permite sustituir cuatro componentes metálicos por *composite* que mantiene las mismas propiedades y reduce 60% del peso. La apuesta es la fábrica del futuro (FOF) como solución inteligente.

6. Orkestra

Creado en 2016 como el Instituto Vasco de Competitividad, ahora conocido como Orkestra, desde la fundación Orkestra ha sido una institución integrada a la Universidad de Deusto y al campus de la Universidad de San Sebastián, pero con una estructura organizativa que asemeja a una firma privada, tiene cuatro áreas de investigación: clústers, innovación y desarrollo regional, estrategia y empresarial. Cada dos años elabora el Informe de Competitividad de la Economía Vasca (Orkestra, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017). Ahora se complementa con el papel en la investigación de la digitalización y la I4.0. La experiencia de Orkestra marca un tema clave en el rol de las instituciones académicas en el desarrollo regional, por su relación con gobiernos y el sector político, aunque el personal investigador de Orkestra es independiente de cualquier gobierno.

Bibliografía

- Aranguren, M. J., S. Franco, R. Horta y L. Silveria (2016), "Retos y aprendizajes de institutos de investigación transformadora", *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. 11, núm. 1, pp. 69-79.
- Aranguren, M. J., M. Larrea y J. Wilson (2009), "Learning from the local: governance of networks for innovation in the Basque Country", *European Planning Studies*, vol. 18, pp. 47-65.
- Asociación VICOMTECH (2017), *Asociación VICOMTECH (Centro de Tecnologías de Interacción Visual y Comunicaciones)* octubre [en línea] <http://www.vicomtech.org/>.
- AZTERLAN (2017). *IK4-AZTERLAN. Research Alliance. Centro de Investigación Metalúrgica*. Consultado el 18 de octubre de 2017 [en línea] <http://www.azterlan.es/es/presentacion/historia-estrategia.html>.
- CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas) (2017), *CEIT-Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas* [en línea] <http://ceit.es/es/>
- CIDETEC (2017), *Fundación CIDETEC* [en línea] <http://www.cidetec.es/>.
- Comisión Europea (2014), *Fondos estructurales y de inversión europeos 2014-2020* [en línea] http://ec.europa.eu/regional_policy/es/information/legislation/regulations/
- Comisión Europea (2016). *Regional innovation scoreboard* [en línea] https://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/regional_en.
- Cooke, P., P. Boekholt y F. Tödtling (2000), *The governance of innovation in Europe*, Londres, Pinter.
- Departamento de Hacienda y Economía (2017), *Tecnalia Research And Innovation (TRI)* [en línea] <http://www.euskadi.eus/entidad/tecnalia-research-and-innovation-tri/web01-a2ogafin/es/>.
- Gaiker (2017), *Fundación Gaiker* [en línea] <http://www.gaiker.es/cas/index.aspx>.
- Gobierno Vasco (2015), *PCTI Euskadi 2020. Una estrategia de especialización inteligente* [en línea] https://www.irekia.euskadi.eus/uploads/attachments/5585/PCTI_Euskadi_2020.pdf.
- Gobierno Vasco (2017), *Plan de Industrialización 2017-2020. "Basque Industry 4.0"* [en línea] https://www.irekia.euskadi.eus/uploads/attachments/10018/Plan_de_Industrializacion.pdf?1500453186.
- IDEKO (2017), *IK4-IDEKO* [en línea] <https://www.ideko.es/>.
- IKERLAN (2017), *IK4-IKERLAN* [en línea] <http://www.ikerlan.es/es/>.
- Innobasque (2017), *Basque Innovation Perception (BIP)* [en línea] http://www.innobasque.eus/microsite/politicas_de_innovacion/proyectos/basque-innovation-perception-bip/.
- Magro, E. y M. Navarro (2016), "The role of knowledge infrastructures in regional innovation systems: the case of the Basque Country", *International Conference on Regional Science. The Challenge of Regional Development in a World of Changing Hegemonies: Knowledge, Competitiveness and Austerity* [en línea] <https://www.aecr.org./web/congresos/2012/Bilbao2012/htdocs/pdf/p518>.
- Manumix Interreg Europe (2017), *Innovation policy-mix learning for advanced manufacturing in European regions* [en línea] <https://www.interregeurope.eu/manumix/>.
- Navarro, M. y X. Sabalza (2016), "Reflexiones sobre la Industria 4.0 desde el caso vasco", *Ekonomiaz*, vol. 89, núm. 1, pp. 143-173.
- Orkestra (2011b), *III Informe de Competitividad del País Vasco: liderar en la nueva complejidad*, Donostia-San Sebastián, Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.
- Orkestra (2015), *Cuadernos del Informe de Competitividad del País Vasco 2015*, Donostia-San Sebastián, Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.
- Orkestra (2017), *Informe de Competitividad del País Vasco 2017. ¿Y mañana?*, Donostia-San Sebastián, Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad.
- Red iNNvest (2017), *Red iNNvest* [en línea] <http://www.redinnvest.com/>.
- SPRI (2015), *Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación* [en línea] <http://www.spri.eus/euskadinnova/es/innovacion-tecnologica/vasca-ciencia-tecnologia-innovacion/168.aspx>.

A. Capacidades tecnológicas de México para asimilar la digitalización de la industria

En México durante las últimas dos décadas se han experimentado cambios importantes en la estructura organizativa de las empresas y la articulación de las cadenas de valor. Estas transformaciones modificaron sustancialmente las relaciones entre los diferentes agentes económicos y sociales (empresas, sectores, regiones, gobierno, sociedad civil, investigadores y programas de posgrado). Actualmente, las transformaciones de los procesos de fabricación digital plantean nuevas interrogantes, especialmente en ciertas formas de organización industrial y regulación.

A diferencia de otros casos, en México no existe una única orientación de política industrial y científica que busque dirigir la reindustrialización digital. Si bien, el Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación (PECiTI) 2014-2018 perfilaba la importancia de la manufactura avanzada en la producción, no se diseñaron programas detallados para iniciar la aplicación de la I4.0. Los desafíos fueron establecer prioridades nacionales para el desarrollo de *software*, energía y salud. Por otro lado, las iniciativas adoptadas por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) buscan desarrollar un estímulo a la innovación conformando un entorno convergente a nivel del conocimiento, de la investigación y el financiamiento de nuevos campos en la digitalización en la producción.

Para México es un reto plantear este desafío industrial en los próximos planes nacionales de desarrollo (que se iniciaran en el 2018, con el cambio de gobierno sexenal) y contar con nuevas propuestas para los programas de CTI. No obstante, la situación actual se perfila distinta, dado el creciente interés y preocupación de ciertos actores sobre estos procesos.

Por otra parte, paulatinamente han surgido iniciativas a nivel estatal, en las organizaciones intermedias (FCCyT, FUMEC, CANIETI) en los organismos públicos vinculados con la industrialización (Secretaría de Economía, Conacyt, ProMéxico) por reflexionar y revisar experiencias internacionales, con la finalidad de divulgar y concientizar a los agentes públicos y privados sobre la naturaleza y alcance de los cambios tecnológicos y las nuevas fases industriales.

La organización de este capítulo expone algunos aspectos macro que indican avances y debilidades en los sectores productivos vinculados con la apropiación de la digitalización.

1. Dimensiones de infraestructura, productivas y económicas que sostienen el avance de la digitalización en el país

En México, para el año 2016 solo el 47% de los hogares tenían conexión a internet, el mismo porcentaje aplica para los usuarios de computadoras, como proporción de la población de seis años o más (véase cuadro 1). La Reforma de Telecomunicaciones y Radiodifusión (de 2013) constituyó una propuesta para disminuir la brecha en el acceso a las TIC y fomentar una mayor cobertura a los medios digitales. Esta reforma implicó mecanismos de modernización de los sectores de las telecomunicaciones y radiodifusión (OCDE, 2017a). De acuerdo con datos de la OCDE (2017a) a cuatro años

de la reforma, el número de personas con acceso a banda ancha móvil aumentó en cincuenta millones, al pasar de 24 millones en 2012 a más de 74 millones en 2016. Los precios de los servicios de telecomunicaciones móviles han registrado una fuerte caída, el precio de la canasta de uso bajo (100 llamadas y 500 megabytes) se redujo en 65%, la canasta de uso medio en 61%, y la canasta de uso alto experimentó la mayor caída, una reducción de más de 75% del precio original.

La implementación de la reforma constituyó un esfuerzo por enfrentar las desigualdades en el acceso a servicios de telecomunicaciones. Por primera vez un gran número de ciudadanos han tenido acceso a los servicios, aunque las diferencias regionales en el acceso a internet se mantienen.

Cuadro VI.1

Principales indicadores TIC de México, 2016

Indicador	Valor o porcentaje
Hogares con televisión como proporción del total de hogares (% , 2016)	93,1
Hogares con televisión de paga como proporción del total de hogares (% , 2016)	52,1
Hogares con computadora como proporción del total de hogares (% , 2016)	45,6
Hogares con conexión a Internet como proporción del total de hogares (% , 2016)	47,0
Usuarios de computadora como proporción de la población de seis años o más de edad (% , 2016)	47,0
Usuarios de Internet como proporción de la población de seis años o más de edad (% , 2016)	59,5

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Durante el periodo 2015-2016 la tasa de crecimiento del PIB alcanzó 2,29%. Las actividades terciarias (el comercio, servicios inmobiliarios, alquiler de bienes, entre otros) representaron 64,4% de la composición del PIB para 2016, las actividades secundarias (industria manufacturera, principalmente) el 32,5 y las actividades primarias el 3,1%. Los sectores con mayor participación fueron la industria manufacturera, el comercio y los servicios inmobiliarios (gráfico VI.1).

Grafico VI.1

PIB por sector, 2016

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

Los subsectores dentro de la industria manufacturera con mayor porcentaje del PIB son: i) la industria alimentaria con 21,13%, ii) la fabricación de equipo de transporte con 18,97%, y iii) la industria química con 10,08% (gráfica 4). De las ventas al exterior realizadas por el país, el 35% se generaron en industrias relacionadas con la manufactura en general, mientras que el 25% provienen del sector automotriz³. En la industria manufacturera, 24% del empleo generado procede de empresas exportadoras. Durante 2017 se exportaron 132 mil millones de dólares en electrónicos, material y equipo eléctrico, electrodomésticos y maquinaria, y casi 94 mil millones en el sector automotriz (Villamil, 2017).

Entre enero y julio de 2017, la actividad manufacturera en México creció 3,4% anual, siendo esta la expansión más alta en los últimos tres años. Esto respondió al buen desempeño del sector de fabricación de equipo de transporte, el cual registro un aumento de 11,2% en dicho periodo. Los sectores con mayores tasas de crecimiento promedio entre junio de 2016 y junio de 2017⁴ fueron la fabricación de equipos de transporte, computación, comunicación, de medición y de otros, de componentes y accesorios electrónicos, y la industria de la madera (Hernández, 2017).

Grafico VI.2
PIB industrias manufactureras, 2016
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México.

En el año 2016 la inversión extranjera directa (IED) fue de 30.000 millones de dólares, la cual proviene principalmente de Estados Unidos, España, los Países Bajos y Canadá. México es el segundo proveedor de Estados Unidos, con una participación de 13,5% de las compras totales, solo después de China, aunque en algunos segmentos, como en el de los televisores, figura en primer lugar, de acuerdo con los datos del Departamento de Comercio de Estados Unidos (Jardón, 2017; Villamil, 2017). El destino de la IED se canalizó principalmente en la industria manufacturera (48%), dada la importancia de las maquiladoras en distintas regiones del país, seguido de servicios financieros y de seguros (14,7%) y el comercio (7,2%). La incertidumbre que ha generado el futuro de la relación comercial entre Estados Unidos y México ha provocado que algunos proyectos de inversión se posterguen (Martínez, 2017).

³ El sector automotriz es considerado un sector ganador tras la entrada en vigor del TLCAN, sin embargo, debido a la renegociación de dicho tratado; su comportamiento económico puede cambiar. En los últimos años la industria automotriz y la aeroespacial se han logrado consolidar en las cadenas globales de valor; al igual que las manufacturas eléctricas y electrónicas.

⁴ Para identificar las áreas de especialización de la industria manufacturera en México, se hizo un análisis por subsector de estas industrias, mediante el promedio de la variación porcentual mensual respecto al PIB de junio de 2016 a junio de 2017.

En el 2016, el 35% de las exportaciones del país fueron en electrónicos y máquinas, con 134.000 millones de dólares, seguido de la industria automotriz, con 26%, lo que equivale a 98 000 millones de dólares (según datos del Banco de México). El común denominador de estos sectores es que han logrado integrarse a las cadenas globales de valor, promoviendo la fabricación conjunta de bienes y exportaciones mexicanas (Villamil, 2017c; Jardón, 2017).

Las exportaciones mexicanas a Estados Unidos,⁵ en el transcurso del 2017, sumaron 179.741.000.000 de dólares, un monto sin precedente, que implicó un crecimiento anual de 6,9%, la mayor alza en cinco años. El monto más elevado en las exportaciones mexicanas se registró en vehículos, con 13,6 % más a la tasa anual (Jardón y Villamil, 2017). La balanza comercial en general ha sido deficitaria, exceptuando en 1995 (por la crisis económica) y 2002. Esto se explica por las características de las exportaciones, en su mayoría manufacturas, con alto contenido de componentes importados. Este dato muestra la dependencia de la industria mexicana de componentes traídos del exterior, lo que podría tomarse como una oportunidad para el desarrollo productivo local en nichos específicos, que no están satisfaciendo las necesidades de componentes de alta tecnología que demandan las empresas.

B. Desarrollo productivo sectorial y localización territorial

El Instituto Nacional del Emprendedor (INADEM) definió los sectores clave por entidad federativa de acuerdo con sus vocaciones productivas (véase anexo 2). El sector aeroespacial es estratégico para el desarrollo futuro en diversos estados del país como: Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Querétaro. El sector automotriz es clave para doce estados, entre los que se encuentran los mencionados para la aeroespacial, ambos sectores representan económica y productivamente un factor de apropiación de nuevas tecnologías y empleo.

Los clústeres más consolidados se localizan en los sectores automotriz, aeroespacial, TIC y electrónico. Las relaciones en los agrupamientos productivos territoriales articulan las relaciones de empresas, proveedores, centros de investigación, institutos tecnológicos, instituciones intermedias y agencias gubernamentales. A pesar de las discontinuidades por cambios tanto de las políticas de apoyos, como de los gobiernos y estrategias estatales se logró conciliar un campo de interés mutuo, que favoreció la creación de nuevas modalidades de transferencia del conocimiento, formalizadas en oficinas específicas para ello y complementada con la acción de otras organizaciones intermedias, incubadoras y parques de innovación. La evidencia empírica señala que existen diferencias entre los agrupamientos productivos (Casalet, 2012 y 2013) que depende del desarrollo económico, tecnológico y relacional de la región donde se insertan. La historia productiva de la región condiciona los aprendizajes, la innovación, la organización industrial y las relaciones de colaboración con otros agentes. Aunque si existen islas de conectividad micro-macro, como en ciertos agrupamientos regionales (*software*, aeroespacial, electrónico, automotriz) y parques industriales (PIIT-Monterrey IT Cluster), integradoras de empresas de *software* en Jalisco creados para facilitar economías externas e integrar a las pymes en relaciones asociativas entre sí, o con empresas ancla para reforzar las cadenas de proveedores.

⁵ El déficit comercial de Estados Unidos con México subió en los primeros siete meses de 2017 a su mayor nivel desde 2008, ante un mayor dinamismo de exportaciones mexicanas que alcanzaron un saldo histórico y han sorteado la incertidumbre propiciada por la renegociación del TLCAN (Jardón y Villamil, 2017).

En diferentes regiones del país se generaron agrupamientos industriales (Baja California, Chihuahua, Jalisco, Querétaro, Aguascalientes y Nuevo León) donde se iniciaron dinámicas productivas y sociales, que aunadas a los esfuerzos de inversión y fortalecimiento institucional de los gobiernos estatales desarrollaron un capital social capaz de promover comportamientos emprendedores e integrar a nuevos grupos productivos y académicos en la circulación de la información y la realización de proyectos comunes. Esta colaboración no es solo producto de la coincidencia geográfica, sino que la búsqueda por mejorar las condiciones organizativas y los aprendizajes acumulados abrieron nuevas vías de intercambios entre los sectores productivos y la investigación (centros públicos de investigación, universidades, institutos tecnológicos). El intercambio de conocimiento tácito y la formalización de procesos de aprendizaje y mejoras en la productividad de las empresas constituyeron una infraestructura institucional de apoyo a la innovación, que a pesar de las fluctuaciones económicas y políticas complejizó los intercambios (tecnológicos, asociativos y de capacitación) ahora útiles para el desarrollo de la Industria 4.0.

1. Sector aeroespacial

En México existen aproximadamente 325 empresas y entidades de apoyo de la industria aeroespacial (año 2016), la mayoría tiene certificaciones NADCAP y AS 9100 (norma básica para ser proveedor en este sector) y están localizadas principalmente en cinco entidades federativas (Baja California, Chihuahua, Nuevo León, Querétaro y Sonora) empleando a más de 45.000 profesionales.

El nivel de exportaciones, esta industria ha registrado un crecimiento mayor a 17% en promedio anual durante el periodo 2004-2014. El último año alcanzó un monto de 6.363 millones de dólares. Por su parte, las importaciones alcanzaron un monto de 5.416 millones de dólares, manteniendo una balanza comercial positiva durante 2014; mientras que durante el 2015 la cifra estimada es de aproximadamente 7.500 millones de dólares, según los datos de la Secretaría de Economía (ProMéxico 2016a).

La industria aeronáutica ha crecido a una tasa mayor que la de la economía mexicana (11,2% frente a 1,9%) incrementando la participación en el PIB a lo largo de los últimos diez años. En el 2007 la participación era del 0,06% en el ramo de la fabricación de equipo aeroespacial, para el año 2015 la participación creció a 0,13%. El empleo también ha tenido un crecimiento significativo, del 2007 al 2016, mostro un crecimiento de más de tres veces el número de personal ocupado, pasando de 7.325 trabajadores a 24.261 entre personal obrero y empleados con una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 14%. Los salarios pagados en la industria aeronáutica son 25% mayores que el promedio manufacturero lo que hace suponer que ocupan una mayor proporción de obreros calificados.

En cuanto al segmento de aeropartes México abarca el 1,8% del mercado global, solo después de España e Italia y muy cerca de China. Alrededor del 71% de las exportaciones de México en este mercado tienen como destino los Estados Unidos, cuyo valor es de aproximadamente 7.300 millones de dólares. De las exportaciones mexicanas 92% se quedan en el continente americano y el resto se va a países de Europa y Asia.

En la localización territorial se destacan los estados del norte del país: Baja California, Nuevo León, Chihuahua y Sonora, este último firmó un convenio con la empresa alemana Aerotech Peissenberg y el grupo Punto Alto para fabricar piezas aeroespaciales, proyecto que se instalará en el Parque Industrial Hermosillo Norte, donde se fabrican turbinas para firmas como GE Airspace y Rolls Royce que serán empleadas por Airbus y Boeing. Los estados del centro del país, Querétaro, Aguascalientes, Puebla y San Luis

Potosí, concentran el desarrollo la industria aeroespacial, donde se desarrolla una activa vinculación del sector, con las autoridades estatales y especialmente con los CPI como: CIDESI, CIDETEC, CIATEQ. La realización de proyectos de investigación entre industria y academia, abrió nuevas oportunidades para consolidar equipos interdisciplinarios capaces de intervenir en nuevas convocatorias nacionales e internacionales (PEI, Fronteras de la Ciencias, Formación de Consorcios, con grupos de la NSF) y estatales (Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECyT), Formación de Asociaciones de la Industria Aeroespacial en Querétaro). La creación de un tejido relacional sostiene los intercambios, genera confianza y aporta información sobre transformaciones y nuevos desarrollos tecnológicos. En Queretano se localiza la Universidad Nacional Aeronáutica Querétaro (UNAQ) con intensa colaboración en la investigación con empresas del sector y CPI. (Casalet, 2013, Villavicencio, 2013).

2. Sector automotriz

La industria automotriz, al igual que la aeroespacial, es una de las más dinámicas y competitivas de México. El sector es un protagonista importante a nivel global, los vehículos fabricados se venden en todo el mundo, las autopartes integran las cadenas de valor de la industria mundial y fortalecen nichos como el segmento de vehículos premium. El sector aporta más del 3% del PIB nacional y 18% del PIB manufacturero, genera divisas por más de 52.000 millones de dólares al año y es responsable de 900.000 empleos directos en todo el país. La producción de autobuses, camiones y tractocamiones abarca 25.000 empleos directos y generan más de 5% del PIB manufacturero.

De acuerdo con estimaciones del INEGI, las remuneraciones de la industria automotriz tanto el área de autos terminados como de autopartes en México son, en promedio, superiores a las del resto de la industria manufacturera; en el caso de la industria automotriz terminal, los salarios son casi tres veces mayores que en el resto de los sectores (ProMéxico, 2016).

México es el séptimo productor y el cuarto exportador de vehículos ligeros a nivel global; hace diez años fabricaba 17% de los vehículos pesados de la región, en 2016 la producción representó 35%; la industria se ha consolidado como un pilar de la economía nacional (ProMéxico, 2016b). En 2015 el país fabricó 3,4 millones de vehículos ligeros, 39,9% más que Brasil.

Actualmente, 80% de la producción automotriz está destinada al mercado de exportación, 86% de las exportaciones del sector tienen como destino Canadá y Estados Unidos, es decir, México aporta 20% de la producción automotriz en América del Norte. En 2015, se vendieron más de 1,4 millones de vehículos ligeros en México, lo que representó un crecimiento de 19% en comparación con 2014. En 2015, los sectores automotriz terminal y de autopartes representaron 20% de la IED en México, con un total de 5757 millones de dólares invertidos, de los cuales 46% (2.637 millones de dólares) se destinó a la industria automotriz terminal y 54% (3.119 millones de dólares) a la industria de autopartes (incluyendo neumáticos). En el periodo 2011-2015, la IED acumulada en las áreas de automotriz terminal y de autopartes (incluyendo llantas) fue de 19.783 millones de dólares. Distintas armadoras han invertido más de 27.000 millones de dólares en el país (año 2016), lo que añadirá aproximadamente 1,7 millones de unidades a la capacidad de producción actual. Entre 2010 y 2015, México recibió inversiones de más de 22.000 millones de dólares, enfocadas principalmente a la construcción de nuevas plantas y a proyectos de expansión (ProMéxico, 2016b).

Para 2020 se estima que la industria automotriz mexicana produzca cerca de 5 millones de vehículos ligeros de 13 marcas diferentes, en más de treinta plantas de manufactura (ProMéxico, 2016).

Los clústeres que agrupa al sector automotriz son: i) Clúster Automotriz de Nuevo León, ii) Clúster Automotriz de Guanajuato, iii) Clúster Automotriz Estado de México, y iv) Automotriz de Chihuahua. Donde se agregan más de treinta centros de diseño en distintos estados del país que apoyan el desarrollo y crecimiento de la industria, entre ellos destacan: El Centro de Desarrollo Tecnológico Nissan, Centro de Investigación, Desarrollo y Pruebas de Ingeniería Automotriz Chrysler, Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro, A. C.; Centro de Tecnología Electrónica Vehicular (CTEV), Centro Técnico de Delphi, Centro de Desarrollo de la Industria Automotriz en México, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, y Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

3. Sector de TIC

En la última década, México se ha consolidado como proveedor de la industria de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para América Latina y Norteamérica. Es el tercer exportador de TIC y servicios de TIC, después de India y Filipinas. Es el segundo destino de inversión en software en América Latina, atrae el 23% de la inversión total en proyectos de esta área y destaca como uno de los destinos donde se establecen el mayor número de compañías de TIC en América Latina (Secretaría de Economía, 2014).

El sector es estratégico, no solo por su potencial de crecimiento, sino por el efecto transversal de modernización y desarrollo hacia otros sectores y con competitividad de la economía. La industria está constituida por un importante universo de pequeñas y medianas empresas orientadas principalmente a la producción de servicios. Una proporción importante de la producción de software es de autoconsumo o in house, por lo que grandes empresas de otros sectores desarrollan o adaptan de forma interna los programas de software que usan y los servicios de TI que requieren.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 estableció una política transversal para la estrategia digital nacional, fomentando la adopción de las TIC en los sectores estratégicos del país, mediante la implementación de una política de fomento económico. El PROSOFT, creado por la Secretaría de Economía en 2002, promovió las condiciones para contar con un sector de servicios de TIC competitivo internacionalmente, así como para asegurar su crecimiento en el largo plazo. El fondo del PROSOFT —cuyo objetivo principal fue brindar apoyos a la inversión y desarrollo de proyectos de TIC— en conjunto con fondos estatales y de la industria privada, al año 2014 generó fondos de más de 16.000 millones de pesos, a través del apoyo a más de 3.000 proyectos. El sector de TIC en México ha logrado importantes avances en la última década, el valor de mercado ha crecido a una tasa anual promedio de 14% en los diez últimos años, mientras que las exportaciones y el empleo se ha incrementado a tasas de 12,2% y 11%, respectivamente, en el mismo periodo.

El carácter transversal de la política pública impulsado por PROSOFT ayudó a fortalecer los pilares de calidad y desarrollo de capital humano. En 2014 ProMéxico lanzó la Agenda Sectorial para el Desarrollo de las Tecnologías de la Información en México 2014-2024, conocida como PROSOFT 3.0, impulsada para detonar el mercado digital de TIC como un sector estratégico.

4. Sector electrónico

El sector electrónico se centra en la producción de aparatos o componentes que procesan algún tipo de información. Esta industria se divide en cinco grandes subsectores: audio y video, computación y oficina, semiconductores, comunicaciones, y equipo médico e instrumentos de precisión, medición, navegación, control y ópticos.

En 2015, México se posicionó como el octavo productor de electrónicos a nivel mundial y el primero de América Latina. La producción del sector fue cercana a los 62.000 millones de dólares. En este mismo año las exportaciones del sector alcanzaron un monto de 75.867 millones de dólares, los productos con mayor participación en las exportaciones son computadoras, seguido de televisores de pantalla plana y teléfonos celulares. Estados Unidos fue el principal destino de las exportaciones representando 86,2%, seguido por Canadá, Francia, Países Bajos y Colombia (ProMéxico, 2016c).

México es competitivo en el subsector de electrónica de consumo, posicionándose entre los principales exportadores a escala global en algunos productos. En 2015, fue el primer exportador de televisores de pantallas planas, superando a países altamente competitivos de Asia, asimismo se colocó como el quinto exportador de computadoras, micrófonos, altavoces y auriculares en el mundo (ProMéxico 2016c).

Las principales instituciones ligadas al sector electrónico son: la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (Canieti), la Cadena Productiva de la Electrónica (Cadelec), el Consejo Nacional de la Industria Maquiladora y Manufacturera de Exportación (CNIMME), el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (Citedi), el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), Intel/Jalisco, el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (Cidesi), el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (Cimav), el Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología (I2T2), y Normalización y Certificación Electrónica, A. C. (NYCE).

La Secretaría de Economía (SE) identificó 23 parques tecnológicos impulsados por diversas iniciativas tanto del sector empresarial, de los gobiernos de los estados, gobierno federal y la academia. Esta política de creación de parques y clústeres ha sido fragmentada, pero importante para densificar las relaciones entre los actores sociales y generar nuevas oportunidades de negocios, de relación estrecha entre la academia y la industria, la creación de ofertas de investigación y educativas. En los agrupamientos más evolucionados tecnológicamente y con vinculación formal y tácita con centros de investigación e institutos tecnológicos se manifiestan modos de coordinación institucional más formalizados, de cooperación e intercambio, que combinan relaciones de asociatividad y mercado. El establecimiento de relaciones de colaboración entre industria y centros de investigación consolidó una arquitectura institucional, que complementariamente desarrolló el capital social capaz de promover comportamientos emprendedores e integrar a la circulación de la información productiva y tecnológica nuevos grupos públicos y privados.

C. Consolidación del sector de ciencia, tecnología e innovación (CTI)

Con el fomento de la I+D se han creado diversos programas que han impulsado desde los fondos de investigación individual y colectivos, la generación de cierta estabilidad y continuidad de los estímulos para la investigación y el acercamiento de los grupos de investigación con los sectores productivos. En la estructura del sistema científico

y tecnológico se destaca la creación de una política de Estado para el fomento de la ciencia, tecnología e innovación (CTI) adoptada por el Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Del cual se desprende la creación de la Ley de Ciencia y Tecnología emitida en el año 2002 y modificada en 2011 y 2013. Esta ley regula los apoyos que el gobierno federal está obligado a otorgar para impulsar y consolidar la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación en el país. El Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) tiene el objetivo de impulsar estas áreas fundamentales; está vinculado con instituciones de educación superior (IES) y centros públicos de investigación (CPI). La gobernanza del sistema científico y tecnológico incluye organismos rectores a nivel nacional en materia de I+D como el Conacyt, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) y la Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia y Tecnología A. C. (Rednacecyt).

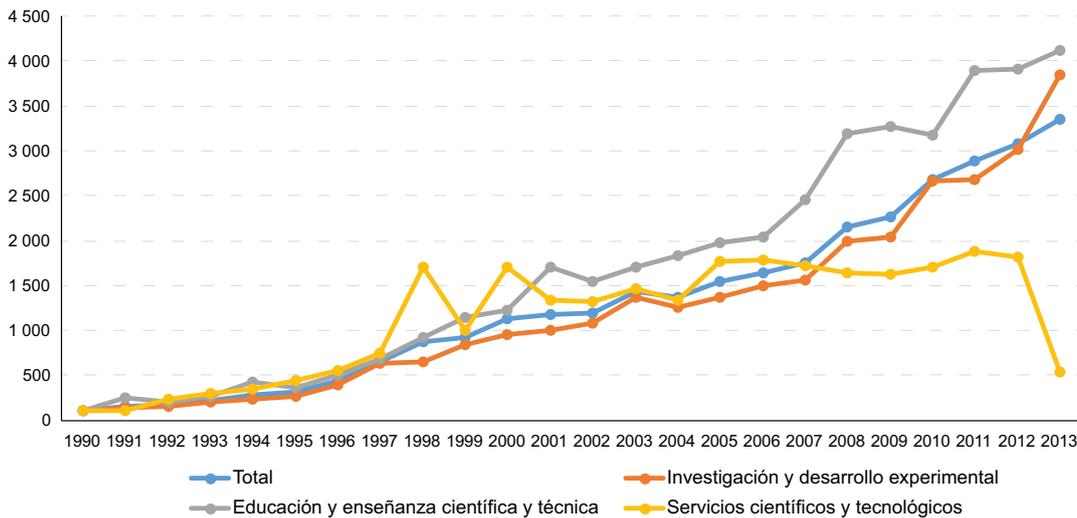
El Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación (PECiTi), vigente en el periodo 2014-2018, busca articular gran variedad de actores públicos y privados para que intervengan en las actividades y propuestas diseñadas para resolver los problemas nacionales con el apoyo del conocimiento y la investigación, orientando el sistema de becas y la vinculación entre la academia y los sectores productivos.

La trayectoria del gasto en ciencia y tecnología total sigue una tendencia creciente entre 1990 y 2013. Este gasto se distribuye en investigación y desarrollo experimental, educación y enseñanza científica y técnica, servicios científicos y tecnológicos e innovación tecnológica. Estos últimos presentan una caída en términos relativos desde 2011 (gráfico VI.3). El gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB pasó de 0.26% en 1996 a 0.54% para el 2014, cifra todavía baja si se compara con los países industrializados que destinaron montos por arriba de 3.5%.

Gráfico VI.3

Gasto federal en ciencia y tecnología según tipo de actividad, 1990 a 2013

(Index 1990=100)



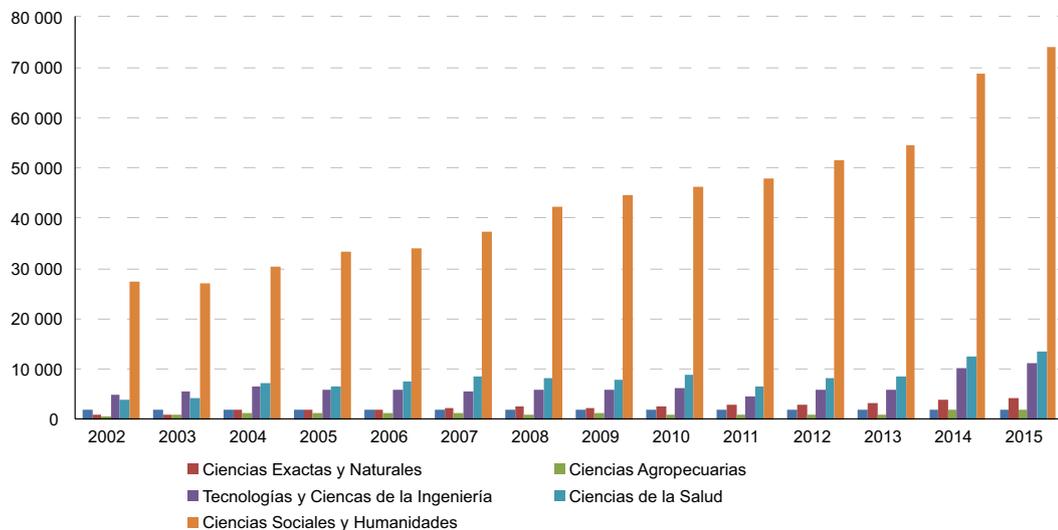
Fuente: Para 1990-2003: Conacyt. *Informe General del Estado de la Ciencia y la Tecnología*, México, 2004, 2006-2008. Para 2004-2013: Conacyt. *Informe General del Estado de la Ciencia y la Tecnología*, México, 2013.

D. Potencial de generación y atracción de talento

La formación de talento humano calificado ha crecido en 174% entre 2002 y 2015. Este crecimiento muestra un aumento de recursos humanos especializados. En cuanto al campo de la ciencia, el de tecnologías y ciencias de la ingeniería en el año 2012 era de 5.691 y alcanzó 11.066 en 2015. Dicho campo está altamente involucrado con la industria y la creación de ciencia y tecnología necesarias para el éxito en la implementación de este nuevo paradigma productivo. (véase gráfico VI.4)

Gráfico VI.4

Posgrado, Distribución de alumnos de posgrado por campos de la ciencia, 2002-2015 (cantidad de egresados)



Fuente: Elaboración propia con base en Conacyt y el Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, Indicadores de actividades científicas y tecnológicas, varios años.

A pesar de los avances indicados precedentemente, de cada mil egresados de licenciatura solo 22% son ingenieros,⁶ un número insuficiente para atender las demandas del sector productivo, especialmente las exigencias de la I4.0. De acuerdo con la OCDE en los países miembros solo 16% de los alumnos optan por carreras en las áreas de ingeniería, construcción y producción, menos de 5% en el área de tecnologías de la información y la comunicación, pese a que los graduados de estas últimas carreras tienen en promedio la tasa de empleo más alta en todos los países de la OCDE (2017b).

Del bajo porcentaje de ingenieros que egresan de las universidades solo 41,7% tiene un trabajo afín con sus estudios (porcentaje respecto al total de ingenieros en México). Los datos de la industria nacional de autopartes (INA) revelaron que en 2016 por cada mil egresados de nivel licenciatura, apenas 221 fueron ingenieros, un 19% menor que el promedio que presentaban las universidades hasta el 2015 (Sánchez, 2017).

Por cada mil egresados de maestría 63 son ingenieros, el grado educativo de los ingenieros en especialidades de maestría y doctorado se ha estancado en los últimos años (2011-2016). En el caso de maestría pasó de 99 en 2011 a 63 en 2016, en doctorado de 104 a 108⁷ En especialidades los egresados han disminuido de 86 a 42 ingenieros en el mismo periodo (Sánchez, *op. cit.*).

⁶ Fuente: Observatorio Laboral, INA y Secretaría de Economía, citado en Sánchez (2017).

⁷ Según datos de la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior (ANUIES) citado en Sánchez (2017).

En el periodo 2015-2016 egresaron de las universidades 735 ingenieros especializados en vehículos de motor, barcos y aeronaves, lo que coloca a la ingeniería especializada en transporte en la posición 48 de 66 de egresados. Aunque solo 19,2% de los egresados llega a trabajar para el sector, debido a que los jóvenes egresados no tienen oportunidades de continuar su preparación para cumplir las exigencias de las empresas internacionales, que además de una formación muy especializada demandan el manejo del idioma inglés⁸ (Sánchez, *op. cit.*).

E. El papel de los centros públicos de investigación (CPI) y la vinculación con los sectores productivos: una red importante en el avance de la I4.0

Los centros públicos de investigación (CPI) integran la infraestructura del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) bajo la coordinación del Conacyt. Los CPI son instituciones de investigación, formación y transferencia de conocimientos con una densa vinculación con las empresas y los agrupamientos productivos localizados en los estados donde se emplazan.

La influencia del sector científico en los procesos de innovación es cada vez más significativa. Los CPI, debido a la producción científica y tecnológica y por el número de miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) alcanzado por la planta de científicos, es el segundo sistema del país. Los posgrados que imparte el sistema se han convertido en un motor de la formación de recursos humanos de alto nivel con contenido multidisciplinario. Los CPI están vinculados con instituciones de educación superior (IES), con empresas para realizar proyectos de investigación, con fondos concursables del Conacyt en ciencia básica y en programas de estímulo a la innovación con empresas (PEI), participan en fondos regionales como Fordecyt, Fomix y apoyos especiales concursados por los gobiernos locales para asesorar técnicamente a un sector en particular. Los CPI tienen un importante papel en la difusión científica y tecnológica que los conecta con las empresas de los estados donde se ubican, generan cerca de 75% de la actividad científica, tecnológica y de formación de capital humano fuera de la Ciudad de México y tiene presencia en 28 estados y 61 ciudades, contribuyendo significativamente a la descentralización de las actividades de CTI (Conacyt, 2014b).

Los centros públicos de investigación se han distinguido por consolidar la vinculación con estructuras productivas a nivel regional, son organizaciones clave que fungen como intermediarios facilitando las relaciones para la innovación en los procesos productivos basados en la colaboración. La mayoría cuenta con una oficina de transferencia tecnológica para fomentar el conocimiento y los procesos de transferencia de tecnología con las empresas y clústeres regionales. La vinculación de los CPI con el entorno productivo y las instituciones estatales tiene larga trayectoria y ha incorporado a sus respuestas los cambios tecnológicos y organizativos para crecer en la oferta de servicios. Actualmente, son protagonistas en iniciar investigaciones y asesorías para la apropiación de la Industria 4.0 especialmente en nuevos materiales, modelos de simulación, integración de *software* a la cadena de proveedores y suministro.

⁸ “Óscar Albín, presidente de la INA, comentó que para resolver esto celebran alianzas con grupos empresariales (por ejemplo, con Jetro, oficina de promoción de inversión japonesa en México) y universidades para impulsar la formación de talento, para que las compañías fabricantes de autopartes puedan acceder a la mano de obra calificada” (Sánchez, 2017).

Los CPI constituyen un sistema integrado por 27 instituciones que abarcan a los principales campos del conocimiento científico, tecnológico, social y humanístico, agrupados en tres grandes subsistemas: 1) ciencias exactas y naturales con diez centros; 2) ciencias sociales y humanidades, y 3) desarrollo tecnológico y servicios con ocho centros respectivamente, y un centro más especializado en el financiamiento de estudios de posgrado (véase anexo 1).

Los CPI agregan al desempeño académico de formación e investigación la atención a las demandas del sector productivo y las empresas y los entornos territoriales donde se localizan. Estas actividades giran en torno a la realización de proyectos de investigación, pruebas de laboratorio, prestación de servicios tecnológicos para la validación técnica y el servicio a las empresas en sus regiones geográficas⁹ (Stezano, 2017). En lo que respecta a los procesos de comercialización, la mayoría de los CPI tienen capacidades para generar productos de propiedad intelectual como patentes, licencias o empresas de base tecnológica. Los servicios que requieren las empresas difieren de acuerdo con el tamaño;¹⁰ mientras que las pequeñas y medianas demandan servicios tecnológicos, las empresas medianas también requieren, en su mayor parte, servicios relacionados con la investigación, así como las grandes.

El Conacyt planteó este año la creación de nueve consorcios orientados a la investigación y el desarrollo industrial para atender problemáticas en diversos sectores y regiones del país. Esta iniciativa es parte del proyecto de reorganización del Sistema de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt, 2017e), es una respuesta que reconoce la multidisciplinariedad del conocimiento y la búsqueda de respuestas convergentes y transversales en la organización y la comunicación en las áreas de conocimiento.

La reestructuración se justifica en los nuevos modos de producción de conocimiento a nivel internacional basados en la integración de grupos y redes de investigación que abordan problemas nacionales y de la sociedad de forma multidisciplinaria, aspectos no considerados por el modelo lineal de construcción de conocimiento por instituciones o investigaciones individuales (Conacyt, 2017d).

Inicialmente la reorganización propone transformar los 27 centros de investigación Conacyt en nueve sectores estratégicos para el desarrollo económico y social del país. En un segundo momento, está previsto crear otros consorcios para atender otras problemáticas nacionales. La iniciativa de reorganizar los CPI responde a la necesidad de impulsar sinergias entre los centros de investigación, así como con otras instituciones y la industria. La conformación de consorcios procura consolidar un enfoque transversal y favorecer la mayor comunicación y cooperación entre centros, con una visión investigación multi y transdisciplinaria, así como los desarrollos basados en procesos de convergencia tecnológica.

Esta reorganización del trabajo científico de los CPI se coordinará a través de cinco sectores estratégicos para el país, donde los 27 centros de investigación estarán distribuidos en grupos, que son los nueve consorcios. Cada consorcio alinear sus capacidades para atender problemáticas específicas mediante proyectos con diferentes

⁹ Las actividades menos complejas a nivel tecnológico son una de sus principales fuentes de ingresos, especialmente las pruebas de laboratorio y las certificaciones de producto/proceso. Estas actividades responden a las actividades típicas de producción en las regiones donde se localizan los centros, por lo que adquieren visibilidad y legitimidad como actores conectores y articuladores dentro de los esquemas productivos regionales. Dos de los centros tecnológicos analizados (Cideteq y CIAD) también abordan demandas de tecnología compleja, incluidos los componentes de la investigación científica básica (Stezano, 2017).

¹⁰ Las empresas grandes demandan I+D conjunta, ya que sus actividades de investigación son más dinámicas y abarcan nichos de mercado donde la innovación tecnológica es un factor de diferenciación competitiva. Por el contrario, las pequeñas y medianas empresas compiten en mercados donde la diferenciación y la innovación no son centrales en sus estrategias competitivas, y por lo tanto, sus necesidades están más relacionadas con las mejoras tecnológicas y la modernización de procesos, que con innovación radical o incremental (Stezano, 2017).

fuentes de financiamiento (véase cuadro 1). Además, la participación en los consorcios no es exclusiva de los centros de investigación, ya que han sido incluidos en esta iniciativa un organismo internacional asociado (Flasco México) y un Fideicomiso (Fiderh).

Cuadro VI.2

Reorganización de los centros Conacyt en los consorcios y coordinaciones

Sector	Nombre del Consorcio	Centros	Especialidad	Ubicación
Manufactura avanzada	CITTA	CIO CIATEC CIATEQ CIDESI CIDETEQ CIMAT CIMAV CIQA COMIMSA INAOE INFOTEC IPICYT	Automotriz	Aguascalientes, Aguascalientes
	CENTA	CIATEC CIATEQ CIDESI CIDETEQ CIMAV CIQA COMMIMSA INAOE	Aeronáutica	Parque Aeroespacial, Querétaro, Querétaro
	Consorcio SLP	CIDESI CIATEQ COMMIMSA	Metalurgia y Minería	San Luis Potosí
Energía Renovable	COA	CICESE CIO INAOE	Óptica aplicada	Monterrey, Nuevo León
Hidrocarburos	Consorcio Cd. Del Carmen	CIATEQ CIDESI CIQA COMIMS	Energía-hidrocarburos	Cd. del Carmen, Campeche
Agroalimentos	ADESUR	Centrogeo CIAD CIATEJ	Agroalimentario	Acapulco, Guerrero
	Consorcio Agro-hidalgo	CIAD CIATEJ	Agroalimentario Biotecnología	Pachuca, Hidalgo
Multidisciplinario sociales	INTELNOVA	Centrogeo CIDE CIMAT INFOTEC	Políticas públicas, geomática y big data	Parque Industrial Tecnopopo, Pocitos II, Aguascalientes, Agsc. Yucatán.
	CentroMet	CentroG INFOTEC CIDE CIDESI EL COLE INFOTEC MORA	Estudio Metropolitanos	Querétaro, Querétaro

Fuente: Conacyt (2017), Reorganizan el Sistema de Centros Públicos de Investigación de Conacyt.

La alineación temática permitirá a los centros avanzar en la construcción de conocimiento pertinente, con excelencia académica. La alineación se ha organizado en dos instrumentos, uno enfocado a resolver las principales necesidades de generación de conocimiento establecidas en el PECiTI con alcance nacional y a largo plazo, denominado Programas de Investigación de Largo Aliento (PILA) y un segundo instrumento, diseñado para que el sistema aumente su capacidad de mover la economía nacional, la Estrategia de Centros para la Atención Tecnológica a la Industria (ECATI) (Conacyt 2017c: 18).

Los consorcios¹¹ son importantes ya que generarán un mayor aprovechamiento de los recursos públicos al establecer sinergias entre los 27 centros de investigación para crear agencias complementarias de trabajo entre investigadores e instituciones de investigación para resolver problemas concretos a nivel nacional, con un carácter multidisciplinario. La creación de los consorcios servirá como un instrumento de apoyo para los centros, se consolidarán nuevas formas de trabajo conjunto y permitirán detectar las instalaciones, los materiales y el personal más adecuados para atender las necesidades sectoriales y regionales del país (Conacyt, 2017).

F. Organizaciones intermedias, redes temáticas y laboratorios nacionales

1. Organizaciones intermedias

A medida que aumenta el contenido científico y tecnológico de la actividad productiva se reorganiza la gestión institucional para sostener nuevas capacidades de aprendizaje de las empresas y de los agentes que desde diferentes ámbitos (público y privado) contribuyen a desarrollar una diversidad de redes multifuncionales que alientan la colaboración. Las organizaciones intermedias pueden ser tanto una organización específica creada en los diferentes clústeres productivos que lidera procesos de vinculación y colaboración universidad-empresa (a veces los CPI cumplen esta función de articulación y enlace), como también ciertas asociaciones empresariales tales como la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, Telecomunicaciones e Informática (Canieti) o los Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología que han desempeñado funciones de intermediación al promover la formación de redes interorganizacionales, el flujo de conocimientos y la comunicación¹².

Las nuevas formas de intermediación están centradas en el desarrollo de redes interinstitucionales, con flujos dinámicos de intercambio con actores no académicos que cuentan con financiamiento proveniente de varias fuentes; acrecientan y expanden los vínculos y los aprendizajes en los procesos productivos (laboratorios de los CPI con la industria, Oficinas de Vinculación de los CPI, parques de innovación, redes temáticas nacionales y estatales); aceleran los procesos de colaboración, y consolidan los circuitos comerciales, de comunicación de ideas e innovaciones entre los agentes independientes. Los nuevos acuerdos de colaboración exigen un trabajo de concertación entre múltiples actores para establecer la agenda de investigación, y la traducción de códigos que no comparten, pues proceden de contextos con lógicas, incentivos y culturas diversas. Tales cambios rompen con antiguas rutinas disciplinarias y organizativas, ya que actúan

¹¹ Los consorcios no generan nuevas personalidades jurídicas ni nueva estructura de personal de base. En términos legales-administrativos, la construcción de infraestructura se da a través de alguno de los Centros Conacyt como sujeto de obra quien, además, debe poseer el terreno donde se realiza la obra (Conacyt, 2017e: 23, citado en Stezano, 2017)).

¹² Dentro de las organizaciones intermedias se destacan: el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) creado por la Ley de 2002 como órgano autónomo y permanente de consulta del Poder Ejecutivo Federal, del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico; la Academia Mexicana de Ciencias (AMC); la Fundación México Estados Unidos para la Ciencia (Fumec), nació como una entidad articuladora de la colaboración científica binacional en áreas prioritarias para ambos países, en su desempeño amplió las sinergias a múltiples proyectos vinculados con nuevas tecnologías, industria aeroespacial, salud y emigración, potenciados por una estructura organizativa flexible y ávida de captar oportunidades de desarrollo; la Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico (Adiat) creada en 1989 para contribuir a mejorar la administración de tecnología y la protección industrial fue ampliando sus objetivos y profundizando los vínculos con diversos sectores empresariales para afianzar la expansión de una cultura de la innovación. Los consejos estatales de ciencia y tecnología agrupados en la Rednacecyt constituyen una red formalizada para promover la CTI impulsar programas como el desarrollo del Observatorio de CTI y apoyar a nivel regional las acciones propiciadas por el FCCyT, Adiat, Fumec, Conacyt y otras secretarías de Estado especialmente la Secretaría de Economía.

en un contexto multidimensional, afectan a los funcionarios del sector público y privado, a los investigadores y a las asociaciones sectoriales.

2. Redes temáticas Conacyt

Las redes temáticas son la asociación voluntaria de investigadores o personas con un interés común de colaborar y aportar sus conocimientos y habilidades, coordinadas de manera colegiada por un comité técnico académico (CTA) (Conacyt, 2017c). Estas redes actúan como organizaciones intermedias que buscan fortalecer la construcción y desarrollo de agrupaciones científicas nacionales relacionadas por temas estratégicos que responden a problemas científicos, tecnológicos y sociales, y que procuran la vinculación entre la academia, el gobierno y la sociedad.

Los temas de las redes están enmarcados en las áreas del conocimiento consideradas en el Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación (Peciti) 2014-2018, estas áreas son: ambiente, conocimiento del universo, desarrollo sustentable, desarrollo tecnológico, energía, salud y sociedad.

3. Laboratorios nacionales

El objetivo de los laboratorios nacionales es generar conocimiento a través de la investigación, la formación de recursos humanos de alto nivel y ofrecer servicios de vanguardia. Actualmente se cuenta con alrededor de 72 laboratorios nacionales distribuidos en todos los estados del país con trabajos en áreas de frontera del conocimiento.

En los objetivos específicos se plantea: a) alcanzar la certificación de los procesos más importantes del laboratorio, b) ofrecer servicios de calidad a instituciones, investigadores, estudiantes y empresas públicas y privadas que no cuentan con medios adecuados, c) promover la vinculación con otros laboratorios y regiones del país, d) crear asociaciones de laboratorios y difusión de la cultura científica entre los diferentes actores de la sociedad. En el catálogo de servicios se atienden áreas de conocimiento avanzado, en este trabajo se destacan solo aquellas vinculadas con la industria digital, que articulan ejes como:

Caracterización de materiales y sus propiedades:

- El Laboratorio Nacional de Microscopía Avanzada (LNMA) dedicado a microscopía de alta especialización y análisis de imágenes experimentales.
- El Laboratorio Nacional de Nanotecnología (NaNoTech) para la caracterización de materiales nanoestructurados.
- El Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (Linan) con la ejecución entre otras de: microscopía electrónica de barrido y transmisión, microscopía de fuerza atómica, medición de propiedades físicas (PPMS).

Cómputo complejo de alto rendimiento y análisis de imágenes:

- El Laboratorio Nacional de Internet del Futuro (Lanif) con acceso al ecosistema FIWARE, servicios de computo en la nube basados en OpenStack, servicios de análisis de big data
- El Laboratorio Nacional de Visualización Científica Avanzada (LNVCA) que actúa en la generación y visualización de modelos virtuales para la investigación, enseñanza e industria en dos y en tres dimensiones, de manera inmersiva y con apoyo de supercómputo.

- El Laboratorio Nacional de Geointeligencia (Geoint) con la creación de plataformas y servicios de información geoespacial web, autómata, geoingeniería en internet (Agei) y plataformas dinámicas de recolección de datos georreferenciados.

Problemas complejos y toma de decisiones:

- El Laboratorio Nacional de Políticas Públicas (LNPP) que vincula la investigación con la resolución de problemas públicos, utiliza inteligencia colectiva y ciencia de datos para la toma de decisiones.

Diseño y manufactura de prototipos, modelación, simulación en sistemas embebidos y recubrimientos avanzados:

- El Laboratorio Nacional en Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Sistemas Embebidos, Diseño Electrónico Avanzado (Sedeam),
- El Laboratorio Nacional de Investigación en Tecnologías del Frío (Lanitef) con simulación de fenómenos de transferencia de energía, desarrollo de instrumentación para aseguramiento de la cadena del frío, desarrollo de materiales avanzados en la transferencia de energía, rediseño y optimización de plantas frigoríficas, y estudios de vigilancia tecnológica.
- El Laboratorio Nacional de Vehículos Autónomos y Exoesqueletos con el diseño y construcción de vehículos no tripulados para aplicaciones en vigilancia e inspección aérea, submarina y terrestre, así como mapeo en 2D y 3D.
- El Laboratorio Nacional en Innovación y Desarrollo de Materiales ligeros para la Industria Automotriz (Laniauto) con asesoría tecnológica para la sustitución de materiales plásticos, mejoramientos y desarrollo de productos, prototipado con impresión 3D, prácticas de reciclaje, recubrimientos sobre diversos materiales.
- El Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva, Digitalización 3D y Tomografía Computarizada (Maudit) dedicado a la manufactura aditiva (3D) digitalización 3D, análisis químicos, caracterización mecánica y moldeo por vacío.

G. Fondos para la investigación: fomento a la investigación pública-privada

En el 2009 el Conacyt puso en marcha el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) con el objetivo de promover la inversión privada en actividades de I+I+D mediante subsidios que cubren parcialmente el costo de proyectos de innovación tecnológica, diferenciando el esquema de apoyo para estimular en mayor medida a las pymes y los proyectos que vinculan a las empresas con la academia (Conacyt, 2014).

El PEI también es el programa de apoyo para las empresas que invierten en proyectos de investigación, desarrollo de tecnología e innovación dirigido a la creación de nuevos productos, procesos o servicios. Este programa va dirigido a empresas mexicanas inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt), que realicen actividades de IDTi en el país, de manera individual o en vinculación con instituciones de educación superior públicas o privadas (IES) y/o centros e institutos de investigación públicos nacionales. Con este programa las empresas incursionan en proyectos conjuntos con la academia, actualmente representa una vía efectiva para acercarse a proyectos en el ámbito de la digitalización de la manufactura y avanzar en el desarrollo de *software* para la integración de máquinas y procesos.

El programa incluye tres modalidades de apoyo: 1) Innovapyme (Innovación tecnológica para las micro, pequeñas y medianas empresas), modalidad dedicada exclusivamente a propuestas y proyectos cuyo proponente sea empresas MiPyME; 2) Innovatec (Innovación tecnológica para las grandes empresas), modalidad dedicada exclusivamente a propuestas y proyectos cuyo proponente sean empresas grandes, y 3) Proinnova (Proyectos en red orientados a la innovación).

1. Fondos de Investigación en Fronteras de la Ciencia

Este programa del Conacyt establece apoyos directos a la investigación en ciencia y tecnología; permite incursionar en campos emergentes del conocimiento para atender las necesidades actuales de generación y aplicación del conocimiento, así como aprovechar las nuevas oportunidades para el capital humano. Este nuevo fondo de investigación pretende que investigadores en México sean apoyados con recursos que motiven la creatividad y revolucionen el saber (Conacyt, 2015). Es una instancia muy importante para evaluar la integración del conocimiento en la producción y consolidar grupos multidisciplinarios que conduzcan proyectos innovadores. Los retos de este fondo radican en las asignaciones para evaluar la calidad y excelencia de los proyectos innovadores con pares que no conocen la problemática y cuyos criterios de científicos son limitados a sus propias redes.

2. Fondo Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de la Innovación (Fordecyt)

Est fondo inició su operación en 2009 con un presupuesto de 500 millones de pesos, sin embargo, en 2012 decreció a 150 millones de pesos. Entre sus financiamientos se cuenta la creación de la Agenda Estatal de Innovación para múltiples estados y áreas productivas. Estableciendo prioridades sectoriales y metas. Para la elaboración de planes y programas se contó con la colaboración de consultorías internacionales como Idom e Indra y nacionales como Fumec.

3. Fondos Mixtos, Fomix

Los Fomix constituyen un programa basado en CTI de alta relevancia para impulsar el desarrollo integral de los estados y municipios. En 2012 la aportación de las entidades federativas a través de los Fomix fue de 526 millones de pesos, monto muy superior comparado con los 177 millones de pesos asignados en 2006. De las entidades federativas, las que más aportaron entre 2006 y 2012 fueron Nuevo León, Jalisco, Yucatán, Guanajuato y el Estado de México, por el contrario, Oaxaca y Guerrero que asignaron montos que no superaron los seis millones de pesos.

4. Fondo de Innovación Tecnológica (FIT)

Este fondo es operado por el Conacyt y la Secretaría de Economía, apoya proyectos para la mejora de productos, procesos y servicios; la creación y consolidación de grupos de investigación asociados a la industria, y la validación precomercial del contenido científico-tecnológico de proyectos en el segmento de pymes.

La visión empresarial en la aplicación del modelo I4.0 en México: Información sobre el cuestionario aplicado vía internet a 15 empresas.

H. Conclusiones. Consideraciones para determinar las estrategias en México

En los países analizados para el impulso a la industria 4.0, se formaron grupos de estudios interinstitucionales y multidisciplinarios, para orientar y formar consenso sobre los problemas centrales en materia de: diagnóstico de sectores productivos, creación de estándares y normas para facilitar la integración, impulso a la *I+D* para generar nuevos escenarios, adecuación del marco legal, construcción de casos exitosos y recomendaciones prácticas para la integración de las pymes en la cadena de valor digital.

Tanto en Alemania, Estados Unidos, como la Comunidad del País Vasco y, en menor medida, en China la colaboración entre instituciones públicas y privadas fue determinante en la difusión del nuevo modelo industrial. Los grupos de trabajo condujeron la discusión mediante portales, institutos de investigación y centros regionales. Esta preocupación por la creación de una estructura institucional de apoyo específica (institutos, grupos interinstitucionales de estudio sobre la I4.0 y manufactura avanzada y aditiva) es indicativa del papel fundamental del gobierno para estimular, extender el modelo y generar acuerdos nacionales e internacionales.

La intensidad de acciones de estas redes nacionales e internacionales de difusión sobre la Industria 4.0 es uno de los aspectos a considerar en la adopción del modelo digital en las economías latinoamericanas y especialmente en México. La aplicación de esta nueva forma de producción requiere condiciones de infraestructura técnica, formación especializada e integración del proceso para ganar eficacia y rendimiento, y es ineludible que enfrentar esta nueva realidad, requiere de políticas adecuadas para la aplicación, seguimiento y coordinación de programas, además de propiciar un diálogo informado sobre los avances, las necesidades técnicas, los impactos sociales y las oportunidades.

En México el cambio de gobierno sexenal abre un espacio para reflexionar sobre las políticas públicas de innovación y aquello que es necesario fortalecer en sus distintos niveles: macro, meso y micro. Es fundamental orientar y concientizar sobre esta problemática industrial, identificar nuevos caminos, evaluando las decisiones asumidas en estrategias internacionales, para reconducir a nivel nacional un diagnóstico de tendencias, evaluación de ventajas y determinación de políticas selectivas. Una medida que se impone, es continuar profundizando en la acumulación de experiencias y propuestas (como la política de *software*, de agrupamientos productivos, de estímulo a la innovación e inserción de pymes), la vinculación realizada entre academia e industria, expresada en los aportes de los CPI y las organizaciones intermedias, que a pesar de las fragmentaciones y discontinuidades generaron un espacio de innovación y articulación de redes nacionales para fortalecer la relación sectores productivos, de investigación y de formación especializada.

Bibliografía

- Bancomext (2017), " Sectores estratégicos", *Aeroespacial*.
- Bonilla, A. (2016), "Conacyt y NSF impulsarán comercialización de innovación tecnológica", *Agencia Informativa Conacyt* [en línea] <http://conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politic>, 4 de mayo.
- Casalet, M. (2013), *La industria aeroespacial: Complejidad productiva e institucional*, México, Flacso-México/Red Temática Complejidad, Ciencia y Sociedad del Conacyt.
- Casalet, M. (2012), "Las relaciones de colaboración entre la universidad y los sectores productivos: una oportunidad a construir en la política de innovación", en *Dilemas de la innovación en México. Dinámicas sectoriales, territoriales e institucionales*, J. Carrillo, A. Hualde y D. Villavicencio (coords.), El Colegio de la Frontera Norte, pp. 109-142.
- Carrera, S. (2017), "La confluencia de las políticas públicas para el desarrollo industrial en el área de la convergencia", en M. Casalet, *El paradigma de la convergencia del conocimiento. Alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario*, México, Flacso.
- Conacyt (2017a). "Halcón H1: Despega el avión con tecnología mexicana." *Agencia Informativa Conacyt* [en línea] <http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/transportes/18843-Presentan-Aeronave-Disenada-Par-Empresa-Mexicana-Incubada-En-El-Centa>.
- Conacyt (2017b), "Presenta el Conacyt nuevos consorcios dedicados a la investigación y desarrollo industrial", *Comunicado 10/17* [en línea] <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/comunicacion/>.
- Conacyt (2017c). "Programa de Estímulos a la Innovación," <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-Y-Apoy>.
- Conacyt (2017d). "Programa de Redes Temáticas Conacyt" [en línea] <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-Conacyt/>.
- Conacyt (2017e), "Reorganizan el Sistema de Centros Públicos de Conacyt" [en línea] <http://www.conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politica-cientifica/15630-reorganizan-sistema-centros-publicos-investigacion-conacyt>.
- Conacyt (2015). "Convocatoria de Investigación en Fronteras de la Ciencia 2015-2" [en línea] <http://www.conacyt.gob.mx/index.php/sni/convocator>.
- Conacyt (2014), *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018*, México.
- González, J. (2017). "Manufactura inteligente", en Congreso de la Red Temática del Conacyt "Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad", Ciudad de México.
- Hernández, L. (2017), "La industria manufacturera." *El Financiero*, 2 de octubre.
- Hernández, S. (2017), "Conacyt", *Centros Públicos de Investigación Conacyt* [en línea] <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-Conacyt/ce>.
- Jardón, E. (2017), "Déficit de EU con México se eleva a niveles de 2008", *El Financiero*, 7 de septiembre.
- Navas, N. (2017), "La industria del motor busca parejas", *El Financiero*, 23 de abril.
- OCDE (2017a), "Estudio de OCDE sobre telecomunicaciones y radiodifusión en México 2017", París [en línea] <http://dx.doi.org/10.1787/9789264280656-es>.
- OCDE (2017b). "Los beneficios de concluir la educación universitaria son aún altos, pero varían mucho según las áreas de estudio, dice la OCDE", Ciudad de México.
- ProMéxico (2017), "Países con tratados y acuerdos firmados con México", México.
- ProMéxico (2016a), "Industria aeroespacial mexicana: un motor que vuela alto", [en línea] <https://www.gob.mx/promexico/articulos/industria-aeroespacial-mexicana-un-motor-que-vuela-alto>
- ProMéxico (2016b), *La industria automotriz : situación actual, retos y oportunidades* [en línea] <http://www.promexico.mx/documentos/biblioteca/industria-automotriz-mexicana.pdf>.
- ProMéxico (2016c), "Sector electrónico en México", *Perfil del sector*.
- Sánchez, A. (2017), "Disminuye Inversión Automotriz Ante la Falta De 'inges", *El Financiero*, 13 de junio.
- Secretaría de Economía (2014), "Conoce más sobre la industria TIC en México", Blog-Secretaría de Economía [en línea] <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-mas-sobre-la-industria-tic-en-mexico>.
- SIU (The Social Intelligence Unit) (2017), "Políticas públicas para el desarrollo de ciudades digitales y del conocimiento" en Planeación prospectiva para una ciudad creativa y de conocimiento: la Ciudad de México decidiendo su futuro. [en línea] <http://ces.cdmx.gob.mx/storage/app/media/CCDigital.pdf>

- Stezano, F. (2017), "The Role of Technology Center as Intermediary Organizations Facilitating Links for Innovation: Four Cases of Deferal Technology Centers in Mexico," *Review of Policy Research*.
- Martínez, T. (2017), "Actividad industrial en México acentúa su baja en julio," *El Financero*, 12 de septiembre.
- Villamil, V. (2017a), "México exporta más electródomeísticos que autos," *El Financero*, 30 de agosto.
- Villamil, V. (2017b), "TLCAN deja en 23 años ganadores, pero también perdedores," *El Financero*, 18 de septiembre.
- Villamil, E. y V. Jardón, V. (2017), "Déficit de EU con México se eleva a niveles de 2008," *El Financero*, 7 de septiembre.
- Villavicencio, D. (2013), "Incentivos a la innovación en México: entre políticas y dinámicas sectoriales" en Jorge Carrillo, Alfredo Hualde y Daniel Villavicencio (coords.), *Dilemas de la innovación en México: dinámicas sectoriales, territoriales e institucionales*, Tijuana, B.C., El Colegio de la Frontera Norte.

Anexo VI.A1

Cuadro VI.A.1
Centros públicos Conacyt^a por área y principal actividad

Nombre	Ubicación	Principal actividad
Ciencias exactas y naturales		
Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. (CIO)	Guanajuato	Se dedica a la investigación básica y aplicada en óptica, la formación de recursos humanos de alto nivel en ese mismo campo del conocimiento, así como al fomento de la cultura científica en la sociedad. Área de investigación: Ingeniería óptica Metrología óptica, fotónica y fibras ópticas
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD)	Ciudad de México	Investigación en soluciones sobre alimentación y su vínculo con el desarrollo social y económico. Entre las líneas de investigación destacan: Análisis químicos de materias primas, alimentos y etiquetado nutrimental Análisis toxicológico de alimentos (pesticidas, metales pesados, antibióticos, aflatoxinas, hormonas) en carnes, crustáceos y aves para la emisión de certificados de cumplimiento con los criterios de la Norma Oficial Mexicana (NOM) Bioquímica Biotecnología de alimentos
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (Cibnor)	Baja California Sur	Investigación científica, innovación tecnológica y formación de recursos humanos en el manejo sustentable de los recursos naturales. Coordina varios programas: programa de acuicultura, programa de conservación ambiental y conservación, programa de ecología pesquera, programa de agricultura de zonas áridas.
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C. (CICESE)	Baja California	Investigación básica y aplicada y formación de recursos humanos a nivel de posgrado en ciencias biológicas, físicas, de la información, del mar y de la Tierra. Entre las líneas de investigación destacan: Microbiología molecular marina Cómputo evolutivo, ubicuo y colaborativo Oleaje, tsunamis y procesos litorales y de sedimentación
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY)	Yucatán	Investigación científica y tecnológica, formación de recursos humanos en las áreas de la biología vegetal, los recursos naturales y la ciencia de los materiales. Las líneas de investigación son: Unidad de bioquímica y biología molecular de plantas Unidad de biotecnología Unidad de materiales Unidad de recursos naturales Ciencias del agua Además tiene un área de vinculación y servicios a través de: Laboratorio de Metrología, Laboratorio GeMBio, Jardín Botánico Regional 'Xitbal neek', Laboratorio del Microscopio Electrónico de Barrido y Herbario U Najil Tikin Xiw.
Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (Cimat)	Ciudad de México	Investigación en la generación, transmisión y aplicación de conocimientos especializados en las áreas de matemáticas, probabilidad y estadística y ciencias de la computación. Está orientado hacia la investigación científica, la formación de recursos humanos de alto nivel, el mejoramiento de la competencia matemática de la sociedad, así como al apoyo en la solución de problemas que competen a sus áreas de interés. Principales áreas de investigación: matemáticas básicas y matemáticas aplicadas.
Centro de Investigación en Matemáticas Avanzadas (Cimav)	Chihuahua	Investigación científica, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en Ciencia de materiales y del medio ambiente en sectores productivo y social. Líneas de investigación: Física de materiales Química de materiales Medio ambiente y energía Además, ofrece servicios de laboratorio en temas como: calidad del agua y residuos, pruebas ambientales, energía renovable.
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica, y Electrónica (INAOE)	Puebla	Investigación, identificación y solución de problemas científicos y tecnológicos, y formación de especialistas en las áreas de astrofísica, óptica, electrónica, ciencias computacionales y áreas afines. Líneas de investigación: Astrofísica Óptica Electrónica Ciencias computacionales
Instituto de Ecología, A. C. (Inecol)	Veracruz	Investigar, transferir y socializar conocimiento científico y tecnológico de frontera sobre ecología y diversidad biológica para coadyuvar a la solución innovadora de problemas ambientales, agrícolas y forestales. Redes de investigación en temas como: ambiente y sustentabilidad, biodiversidad y sistemática, estudios moleculares avanzados y Manejo biotecnológico de recursos.
Desarrollo tecnológico		
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (Ciatec)	Guanajuato	Investigación y aplicación de ciencia, tecnología e innovación en las áreas de sustentabilidad, salud laboral e industria de la manufactura. Líneas de investigación: Salud e higiene laboral Medio ambiente y sustentabilidad Ingeniería industrial y manufactura Cuenta con un laboratorio de biomecánica, y una oficina de transferencia de tecnología (OTT)

Nombre	Ubicación	Principal actividad
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ)	Jalisco	Investigación en el sector agroindustrial a través de la innovación y servicios tecnológicos y de la formación de recursos humanos. Líneas de investigación: Biotecnología vegetal y microbiología industrial Biotecnología, desarrollo y calidad de alimentos Tecnología de alimentos Tecnología ambiental.
Centro de Tecnología Avanzada, A. C. (Ciateq)	Querétaro	Investigación en desarrollo de soluciones tecnológicas que incrementen la competitividad de las empresas, generen valor para la organización y aumenten las competencias. Líneas de investigación: Máquinas y proceso para manufactura Medición e instrumentación Sistemas de monitoreo y control Equipos de proceso Transformación de plásticos Energías alternas y medición
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (Cidesi)	Ciudad de México	Investigación para generar valor en las empresas para contribuir al incremento de su competitividad, mediante el desarrollo y aplicación de conocimiento relevante y pertinente. Líneas de investigación: Investigación aplicada Electrónica y control Sistemas mecánicos Manufactura avanzada Instrumentación científica Tecnologías para la industria petrolera Tecnología de materiales Metrología Tecnologías para el sector aeronáutico
Centro de Investigación y Desarrollo tecnológico en Electroquímica, S.C. (CIDETEQ)	Querétaro	Investigación y conocimiento tecnológico en electroquímica y medio ambiente, para incrementar la competitividad y productividad, dirigiendo esfuerzos a los sectores público, privado y académico. Líneas de investigación: Ingeniería electroquímica Energías alternativas Bioelectroquímica, Electrodepósitos, Nanotecnología (materiales funcionales y nanomateriales) Corrosión Tratamiento de aguas Remediación de suelos
Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)	Coahuila	Actividades de investigación, docencia y servicios tecnológicos en el área de química, polímeros y disciplinas afines mediante la creación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico, y la formación de capital humano especializado. Líneas de investigación: Síntesis de polímeros Procesos de polimerización Procesos de transformación de plásticos Materiales avanzados Plásticos en la agricultura
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. (COMIMSA)	Coahuila	Investigación, estudios y proyectos tecnológicos para fortalecer el sector industrial y la ingeniería para la infraestructura, mediante la generación, asimilación y transferencia de conocimiento útil al gobierno, instituciones y empresas. Líneas de investigación: Ingeniería de proyectos Ingeniería de manufactura metal-mecánica Ingeniería ambiental Ingeniería de materiales
Fondo para el Desarrollo de Recursos Humanos (Fiderh)	Ciudad de México	Colaborar con financiamiento en la formación de recursos humanos altamente calificados para beneficio de México. Este organismo otorga créditos para la realización de estudios de posgrado en el país o en el extranjero, en las siguientes áreas: ingeniería y tecnología, ciencias agropecuarias, ciencias de la salud, ciencias sociales y administrativas, ciencias naturales y exactas.
Ciencias sociales y humanidades		
Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C. (CIDE)	Ciudad de México	Se especializa en las ciencias sociales y se dedica a la investigación y educación superior. Busca generar y difundir conocimiento científico de vanguardia, relevante para el desarrollo de México, y formar profesionales críticos y analíticos capaces de asumir posiciones de liderazgo en el sector público, privado, social y en la academia, mediante programas docentes de alta calidad. Líneas de investigación: División de Administración Pública División de Economía División de Estudios Internacionales División de Estudios Jurídicos División de Estudios Políticos División de Historia

Nombre	Ubicación	Principal actividad
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)	Ciudad de México	El CIESAS se enfoca particularmente a las áreas de antropología social, historia, etnohistoria, lingüística y otras disciplinas afines, a partir de la investigación y formación especializada que se llevan a cabo en la búsqueda estricta de la calidad, con rigor científico y en un marco de libertad académica, con una articulación nacional a partir de equipos especializados de investigación y formación en diversas regiones del país, y una creciente vinculación internacional. Líneas de investigación: Ambiente y sociedad Antropología e historia de la educación Antropología y estudios políticos Cultura e ideología Relaciones étnicas e identidades comunitarias
Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", A.C. (IGGET)	Ciudad de México	Institución académica dedicada a la investigación, educación, innovación tecnológica y diseminación de conocimientos en geomática y geografía contemporánea. Algunas líneas de investigación: Cibercartografía WEB Percepción remota Soluciones complejas en geomática Análisis geoespacial Procesamiento digital de imágenes Modelaje geoespacial Geocibernética.
El Colegio de Michoacán, A.C (Colmich)	Michoacán	Investigación, generación, transmisión y difusión del conocimiento histórico-social y humanístico. Algunas líneas de investigación: Política regional y local Campo y sociedad Migración Territorialidades emergentes Lenguas indígenas Cultura novohispana
El Colegio de San Luis. A.C. (Colsan)	San Luis Potosí	Investigación y formación de investigadores, docentes y profesionales de alto nivel, especializados en el campo de las ciencias sociales y humanidades; que participa en la construcción y divulgación del conocimiento para el entendimiento de la vida social. Algunas líneas de investigación: Agua y sociedad Estudios políticos e internacionales Estudios literarios
El Colegio de la Frontera Sur (EcosurR)	Chiapas	Investigación para el desarrollo sustentable de la frontera sur de México, Centroamérica y el Caribe a través de la generación de conocimientos, la formación de recursos humanos y la vinculación desde las ciencias sociales y naturales. Algunas líneas de investigación: Sociedad, Cultura y salud Antropología ecológica Género y políticas públicas Conservación y restauración de bosques de Chiapas Gestión comunitaria de recursos naturales
El Colegio de la Frontera Norte, A. C. (Colef)	Baja California	Investigación y docencia para generar conocimiento científico sobre los fenómenos regionales de la frontera México-Estados Unidos, forma recursos humanos de alto nivel. Algunas líneas de investigación: Migración Estudios de la industria y el trabajo Desarrollo regional Desarrollo económico Población Estudios culturales Ambiente y desarrollo
Instituto de Investigaciones "Dr. José María Luis Mora" (Instituto Mora)	Ciudad de México	Realiza actividades de investigación, docencia y vinculación en el campo de la historia y las ciencias sociales. Algunas líneas de investigación: Historia política Historia económica Historia social y cultural Historia y estudios urbanos y regionales Historia y estudios internacionales Historia oral Sociología política y económica Cooperación internacional y desarrollo.

Fuente: Elaboración propia con datos de Conacyt.

^a Ciateq (595.9 MDP), Comimsa (588.8 MDP), INAOE (430.5 MDP) y CICESE (462.5 MDP). Esto refleja que en México se están canalizando recursos a actividades de TIC, investigación en materiales, astrofísica y electrónica, en investigación básica y aplicada para la formación de recursos humanos de alto nivel en el posgrado.

Anexo VI.A2

Cuadro VI.A.2

Sectores clave e industrias a futuro por estado

Estado	Sectores clave	Industrias del futuro
Baja California	Agroindustrial, automotriz, electrodomésticos, equipo médico, maquinaria y equipo, metalmecánico, productos de madera, productos electrónicos, productos para la construcción, productos químicos.	Aeroespacial, energía renovable, servicios logísticos, servicios médicos, servicios turísticos.
Baja California Sur	Agroindustrial, servicios turísticos, minería y minerales metálicos y no metálicos, servicios de apoyo a los negocios, servicios turísticos.	Energía renovable y servicios logísticos.
Sonora	Agroindustrial, automotriz, minería de metálicos, productos electrónicos.	Aeroespacial, energía renovable y equipo médico.
Chihuahua	Agroindustrial, automotriz, maquinaria y equipo, Metalmecánica, productos electrónicos, productos para la construcción.	Aeroespacial, equipo médico, productos de madera y electrodomésticos.
Sinaloa	Agroindustrial, servicios logísticos y servicios turísticos.	Productos agropecuarios y acuícolas, servicios médicos.
Coahuila	Agroindustrial, automotriz, maquinaria y equipo, metalmecánica.	Aeroespacial, energía.
Nuevo León	Agroindustrial, automotriz, electrodomésticos, maquinaria y equipo, productos electrónicos, productos para la construcción, productos químicos, servicios de apoyo a los negocios, servicios turísticos, tecnologías de información.	Aeroespacial, energía, equipo médico, servicios de investigación y desarrollo tecnológico, servicios logísticos, servicios médicos.
Tamaulipas	Automotriz y equipo marítimo, electrodomésticos, equipo médico, maquinaria y equipo, productos electrónicos, productos para la construcción, químicos y petroquímicos, servicios logísticos.	Agroindustrial, energía, servicios de apoyo a los negocios, servicios turísticos.
Durango	Agroindustrial, metalmecánica, productos de madera, servicio de apoyo a los negocios, textil y confección.	Servicios logísticos, servicios turísticos.
Zacatecas	Agroindustrial, automotriz, metalmecánica, servicios turísticos	
Nayarit	Agroindustrial, servicios turísticos	Metalmecánica, servicios logísticos, servicios médicos
Tabasco	Agroindustrial, petroquímica, servicios de apoyo a los negocios	Energía renovable
Aguascalientes	Agroindustrial, automotriz, productos electrónicos.	Industria textil, productos para la construcción, servicios de logística, servicios médicos.
Guanajuato	Agroindustrial, automotriz, minería de metálicos, productos para la construcción, productos químicos, textiles, de cuero, calzado.	Servicios turísticos.
Jalisco	Agroindustrial, productos electrónicos, productos para la construcción, productos químicos, servicios turísticos.	Energías renovables, productos de madera, servicios de investigación y desarrollo tecnológico, servicios logísticos, servicios médicos (turismo médico), tecnologías de la información, textil y confección.
Querétaro	Agroindustrial, automotriz, electrodomésticos, maquinaria y equipo, productos de madera, productos para la construcción, productos químicos, servicios de apoyo a los negocios	Aeroespacial, tecnologías de la información.
Puebla	Agroindustrial, automotriz, industria textil.	Energía, productos para la construcción, servicios turísticos.
Colima	Agroindustrial, minería de metálicos, servicios logísticos, servicios turísticos.	Servicios de apoyo a los negocios, servicios médicos.
Michoacán	Agroindustria, metalmecánica, servicios turísticos.	Energías renovables, productos de madera, productos para la construcción, productos químicos, servicios médicos.
Hidalgo	Agroindustrial, metalmecánico, productos para la construcción, textil y de la confección.	Automotriz, energía, productos químicos, servicios logísticos, servicios turísticos.
Estado de México	Agroindustrial, automotriz, industria textil, productos de madera, productos para la construcción, productos químicos.	Equipo médico, servicios logísticos, servicios turísticos.
Ciudad de México	Servicios de apoyo a los negocios, servicios financieros especializados, servicios logísticos, servicios turísticos.	Diseño y moda, productos biofarmacéuticos, productos químicos, servicios de investigación y desarrollo tecnológico, servicios médicos, tecnologías de la información.
Tlaxcala	Agroindustrial, automotriz, metalmecánica, productos de madera, productos para la construcción, químicos y petroquímicos, textil y de la confección	Productos de plástico, servicios turísticos
Veracruz	Agroindustrial, metalmecánica, productos químicos.	Energía, productos para la construcción, servicios logísticos y puertos, servicios médicos.
Morelos	Agroindustrial, automotriz, productos biofarmacéuticos.	Equipo médico, servicios médicos, servicios turísticos.
Guerrero	Agroindustrial, metalmecánico, servicios turísticos.	Energías renovables, servicios médicos, textil y de la confección.
Oaxaca	Agroindustrial, productos de madera, productos para la construcción, servicios turísticos.	Energía renovable, industria textil.
Chiapas	Agroindustrial, petroquímica, servicios turísticos.	Energía, productos para la construcción, servicios médicos.
Campeche	Agroindustrial, energía, servicios de apoyo a los negocios, servicios de investigación y desarrollo tecnológico, servicios logísticos, servicios turísticos, textil y de la confección.	Tecnologías de la información.
Quintana Roo	Servicios de apoyo a los negocios, servicios turísticos.	Agroindustrial, servicios médicos.
Yucatán	Agroindustrial, productos para la construcción, servicios turísticos, textil y de la confección.	Servicios de apoyo a los negocios, servicios médicos.

Fuente: INADEM (2017).

A. Reflexiones finales: Aspectos relevantes que surgen en el diseño de políticas industrial e innovación de las estrategias de aplicación de la I4.0 en los países industrializados

En los diferentes países analizados se destacan los cambios que impactan a la industria con la extensión del internet industrial, que articula el mundo digital con el de las máquinas. El nuevo paradigma digital en la producción es una tendencia imparable. La novedad que emerge con la digitalización es que facilita otro horizonte en los modelos de negocios, servicios y productos individualizados. No es solo una tecnología novedosa, sino la combinación de las existentes en un nuevo sentido, y la habilidad para satisfacer los cambios, actuales y futuros.

El término más generalizado para explicar esta nueva forma producción es Industria 4.0, modelo aplicado en Alemania y adoptado en la Unión Europea, en tanto que en Estados Unidos se inició como manufactura avanzada, para posteriormente adoptar la denominación de “Fábrica Inteligente”. En México no hay todavía un término definido, se conoce como manufactura avanzada, inteligente, I4.0. El uso indiscriminado y la facilidad de adopción de denominaciones de moda, propició el abuso de términos sin definiciones explícitas y, en muchos casos, sin ninguna novedad en las propuestas.

La Industria 4.0 surgida en Alemania y extendida a toda la UE impulso este modelo aplicando orientaciones específicas en las políticas industriales y de CTI. El éxito manufacturero alemán no es accidental, lleva años desarrollándose, aunque la denominación actual I4.0 tiene una presencia reciente. En la orientación de las políticas públicas y la conducción de los acuerdos sociales jugó un papel destacado el gobierno federal, a través de los Ministerios de Educación e Investigación (BMBF) y Economía y Energía (BMWi) conjuntamente con la Asociación Federal Alemana de Tecnología de Información, Telecomunicaciones y Media (Bitkom), la Asociación de Manufactura Eléctrica y Electrónica (ZVEI) y la Asociación de Ingeniería Mecánica (VDMA) que acordaron promover el internet de las cosas y los servicios y sistemas ciberfísicos (CPS) con el objetivo de desarrollar sistemas de producción. La Plattfom Industry 4.0 surgida de estos acuerdos se convirtió en una red articuladora de actores, información y estudios prospectivos, agrupando al sector público, grandes empresas, pymes, centrales sindicales, universidades y centros de investigación. La organización de grupos de trabajo interinstitucionales y multidisciplinarios con capacidad de elaborar estudios, diseñar instrumentos de apoyo, guías explicativas y acciones prácticas, como relevar casos exitosos que retroalimenten relaciones de confianza entre todos los actores, constituyó una estrategia de discusión y decisión.

Por su parte, la estrategia estadounidense en el desarrollo de la manufactura avanzada se focalizó en el uso de materiales de vanguardia y capacidades emergentes vinculadas con las ciencias físicas, la biotecnología, la nanotecnología, la química y la biología. La implementación en este caso implicó dos grandes fases que involucraron políticas públicas y la creación de una estructura institucional orientada a la investigación y el desarrollo de las tecnologías de base. La primera etapa se volcó a elaborar escenarios de futuro para una aplicación efectiva de la estrategia nacional basada en previsiones

económicas y de pronóstico sobre diferentes áreas (defensa, energía, salud, industria, seguridad, economía y mercados globales). Todo esto mediante un proceso interactivo de comunicación continua entre la industria, la academia y el gobierno. El gobierno en esta fase cumplió un papel fundamental para orientar la investigación, con el interés de articular una economía en red. Los desafíos fueron dirigidos a consolidar empresas, especialmente pymes, canalizando los apoyos hacia la I+D, la formación continua e integral de trabajadores y a orientar la inversión productiva. La creación de la Red Nacional para la Innovación en la Manufactura (NNMI), consolidó una vasta red de centros regionales que dieron el soporte institucional a la construcción de la manufactura avanzada en el país.

En la segunda fase, lanzada en 2014, se aumentó el interés por mejorar y complementar los vacíos institucionales para dar respuesta a la aplicación de la digitalización industrial y de los nuevos aprendizajes. La iniciativa Manufacturing USA, es la nueva estructura institucional que reorganiza los centros de investigación para anticipar investigaciones, aprendizajes y garantizar el liderazgo de Estados Unidos en los procesos y productos inteligentes. La fabricación inteligente implica conocimiento en cada fase del proceso: diseño, fabricación y uso continuo. La National Science Foundation (NSF), como la NASA y el NIST tuvieron un papel clave para encauzar la generación de estándares de fabricación inteligente y enlazar la investigación con la industria orientando el apoyo a nuevas áreas de conocimiento. El trabajo del NIST sobre ciberseguridad se dirigió a las cadenas de suministros, los sistemas industriales y a la coordinación de la red Manufacturing USA que constituye un ejemplo de colaboración similar a Plattform 4.0 creada en Alemania.

En el caso de China, se destaca la decisión estratégica del gobierno por alcanzar el crecimiento industrial, la planificación Made in China, en diferentes etapas, con objetivos concretos en la fabricación y calidad, y el establecimiento de hitos para 2020, 2025 y 2050. El desarrollo de la industria manufacturera, si bien ha sido un pilar de la economía China, estuvo ligado a las materias primas, mano de obra barata y otros factores para lograr una ventaja competitiva; esto le permitió convertirse en la mayor economía manufacturera. Sin embargo, la industria todavía tiene enormes desafíos, como el exceso de capacidad de fabricar productos de baja calidad, una estructura industrial desmesurada con tecnología relativamente atrasada, además de la falta tecnología central, por el bajo nivel de informatización, con trabajo intensivo y en el extremo inferior de la cadena industrial.

En China, las grandes empresas juegan un papel importante como Alibaba, Baidu, Tencent y los proveedores de telecomunicaciones, como China Mobile, China Unicom, China Telecom, que han invertido de forma importante en centros de datos (IDCS).

Las iniciativas para la estandarización de *cloud computing* y *big data* constituyen una preocupación, para el gobierno y otros actores empresariales relevantes. El Ministerio de Industria y Tecnología de Información (MIIT) trabaja en la regulación coordinado con espacios internacionales, para promover estándares tanto en la gestión de sistemas en entornos empresariales como de la nube, y el formato de virtualización abierta (OVF) y los futuros estándares creados para auditoría en la nube y gestión de licencias de *software*. En la introducción del modelo I4.0 la Academia de Ciencias China (NSFC) jugó un papel conductor en el fomento y canalización de fondos de investigaciones para *big data*, algoritmos y modelización.

En el análisis de la Comunidad Autónoma del País Vasco un rasgo determinante es la continuidad de las políticas representadas por los clústeres y la coordinación entre la asignación de fondos, la investigación, la innovación y el desarrollo económico. El papel de los clústeres fue decisivo en la aplicación de la Estrategia de Investigación e Innovación Inteligente, donde se afirmó la necesidad de contar con enfoques

diferenciados de acuerdo con la densidad de las redes y la consolidación de los tejidos productivos. En el análisis del sistema regional de innovación vasco, las fortalezas radican en varios aspectos: *a)* la densa red de agentes especializados en conocimiento y tecnología, *b)* una cultura de cooperación público-privada, cuya máxima expresión se materializa en los clústeres, y *c)* la apuesta constante de las administraciones por la I+D y la industria. En los diferentes planes de Industrialización y Ciencia, Tecnología e Innovación se asume el desarrollo del ecosistema industrial y la adopción del modelo I4.0 para la industrialización identificado en el Plan Basque Industry 4.0 siguiendo el modelo alemán y las propuestas de la UE.

El Grupo de Pilotaje integrado por el gobierno, la Red Vasca de CTI, los clústeres, las empresas, el SPRI, Innobasque, las alianzas tecnológicas Tecnalía e IK4 lideran la implementación de la estrategia Basque Industry 4.0 con el objetivo de aplicar un plan ordenado de actuaciones selectivas que dan respuesta en el corto y mediano plazos a las prioridades tecnológicas, de negocio, organización e impulso de talento. El papel de los agentes tecnológicos en el desarrollo industrial se ha privilegiado, para fortalecer las cadenas de valor y apuntalar el apoyo de empresas en dificultades. La efectiva coordinación entre la política científico-tecnológica y la política de clústeres construyó relaciones de colaboración y de intercambio que fomentaron la formación especializada y actualizada con redes que se multiplican para consolidar perfiles multidisciplinares, puntal del modelo de I4.0.

En el caso de México no existe una orientación única en las políticas públicas para incentivar las estrategias de reindustrialización digital. El PECiTI 2014-2018, si bien menciona la importancia de la manufactura avanzada en la producción, no detalla programas ni tampoco fondos de investigación para iniciar su aplicación. La digitalización de la producción, y la integración de los procesos y máquinas es una problemática reciente. Para México estos retos deberán ser tomados en cuenta en el próximo Plan Nacional de Desarrollo con el diseño de nuevas propuestas que reorienten los programas industriales y de CTI.

La creación de clústeres se extiende a casi todos los estados y abarca sectores claves (agroindustrial, automotriz, aeroespacial, electrónicos, servicios logísticos y servicios médicos). Este tejido ha favorecido la creación de nuevas modalidades de transferencia de conocimiento, islas de conectividad micro-macro en ciertos agrupamientos regionales (*software*, aeroespacial, electrónico, automotriz) y parques industriales (PIIT-IT clúster en Monterrey, integradoras de empresas de *software* en Jalisco). Esta colaboración abre nuevas vías de intercambios entre los sectores productivos y de investigación (centros públicos de investigación, universidades, institutos tecnológicos). Esta infraestructura institucional de apoyo a la innovación, a pesar de las fluctuaciones económicas, políticas y de inseguridad, permitió una red de intercambio compleja (tecnológicos, asociativos, de formación de talentos en CyT) que ahora es útil para el desarrollo de la industria 4.0.

Los centros públicos de investigación (CPI), especialmente los centros tecnológicos, construyeron una estructura institucional de investigación y formación que mantienen estrechos vínculos para el fomento de la innovación en los estados donde se localizan. La mayoría cuenta con Oficina de Transferencia Tecnológica para fomentar el conocimiento y procesos de transferencia de tecnología con las empresas y clústeres regionales. Actualmente los CPI son protagonistas en investigaciones y asesorías para la apropiación de la industria 4.0, especialmente en nuevos materiales, modelos de simulación, integración de *software* a la cadena de proveedores y suministro.

Por su parte, Conacyt ha generado nuevos instrumentos para potenciar las investigaciones de frontera. La misma estructura interna del consejo se ha modificado para incluir la reorganización a través de consorcios que agrupen áreas de conocimiento vinculadas con la manufactura avanzada, la energía renovable, los hidrocarburos y los

productos agroalimentarios, con una visión multidisciplinaria y transversal. También se ha reforzado la acción de las organizaciones intermedias, conforme aumenta el contenido científico y tecnológico de la actividad productiva se reorganiza la gestión institucional para sostener las nuevas capacidades de aprendizaje de las empresas y de los agentes que desde diferentes ámbitos contribuyen a desarrollar redes multifuncionales, que alientan la colaboración interinstitucional y logran consolidar acuerdos sectoriales. El problema para el país es integrar los vacíos provenientes del pasado como: la carencia de infraestructura, la baja capacitación, la falta de coordinación entre programas y la inseguridad social extendida a todos los estados y grupos sociales.

La combinación de los sistemas ciberfísicos está incrementando la complejidad de los procesos industriales. Internet articula el mundo digital con el de las máquinas, combina el sistema industrial con el avance de la computación, facilita la recolección de grandes volúmenes de datos a través de sensores, y potencia el trabajo colaborativo entre dispositivos y agentes. Estos cambios permiten optimizar procesos, reducen costos y facilitan la producción personalizada, impulsando además el desarrollo de nuevos productos y servicios. Estas transformaciones repercuten en las cadenas de valor y en los modelos de negocio a nivel global.

Ante este nuevo contexto industrial la región enfrenta varios desafíos, incluida la necesidad de impulsar elementos habilitadores del ecosistema digital como la infraestructura y las capacidades, así como la importancia de diseñar políticas que reorienten los sectores industriales estratégicos para que puedan aprovechar las oportunidades que brindan las tecnologías. Varios países industrializados están liderando este tipo de iniciativas con el objetivo de impulsar la competitividad y la innovación industrial: cabe mencionar al respecto el modelo alemán con la denominación Industria 4.0, así como el de los Estados Unidos con la estrategia de fabricación inteligente, y el de China, donde el Gobierno adoptó la política *Made in China*.

Este documento presenta una reseña de las estrategias industriales más reconocidas a nivel global enfocadas en desarrollar nuevas capacidades productivas y de innovación en las empresas para adoptar métodos de producción avanzados que aseguren ventajas competitivas y permitan hacer frente a la reconfiguración de las cadenas de valor. Se espera que este trabajo sea un aporte al debate y a la reflexión sobre la importancia de la transformación industrial y la generación de nuevas capacidades tecnológicas como elementos clave para impulsar la productividad y avanzar hacia un modelo de desarrollo más inclusivo y sostenible.

