

POLÍTICAS INDUSTRIALES Y DE INNOVACIÓN:
DILEMAS A CONSIDERAR EN SUS DISEÑOS.
¿CÓMO LOS MODELOS INDUSTRIALES DIGITALIZADOS
PODRÁN AMPLIAR LA GOBERNANZA COLABORATIVA?

MÓNICA CASALET*

INTRODUCCIÓN

Este capítulo mantiene continuidad con la propuesta presentada en “Vinculación universidades-sectores productivos para la innovación tecnológica” (Casalet, 2012) donde se analizó el nuevo papel de las universidades y centros de investigación en la construcción de la sociedad basada en el conocimiento. En este contexto de consolidación de las relaciones de colaboración e intercambio entre la universidad y el sector productivo adquieren un papel determinante, con el desarrollo de la digitalización centrada en la extensión de internet de las cosas, la inteligencia artificial, la minería de datos, big data, la computación en la nube y las plataformas digitales (Guoping *et al.*, 2017; Hey *et al.*, 2009; Strawn y Bainbridge, 2016). Los ejes tecnológicos del nuevo paradigma combinan la fabricación con las tecnologías de internet de vanguardia. Desde inicios de los 2000, adquieren relevancia las explicaciones del futuro de la industrialización, identificada como la Cuarta Revolución Industrial, que ha dado lugar a múltiples interpretaciones sobre el devenir de la sociedad y los impactos sociales que provoca, especialmente los riesgos y las consecuencias en el trabajo y el desempleo que impactará a profesiones y trabajadores calificados o no, frente a la ubicuidad y la flexibilidad desplegadas por las tecnologías informatizadas que permiten ser combinadas y recombinadas (Ford, 2015; Brynjolfsson y McAfee, 2016; Frey y Osborne, 2015; Urry, 2016; Schwab, 2015). Por ello, este trabajo analiza los logros alcanzados a nivel internacional y nacional en la generación, aplicación y explotación fuera del ámbito académico del conocimiento, cuya importancia se refleja en el incremento de los intercambios con otros agentes económicos y sociales (Molas-Gallart, Salter, Scott y Du-

* FLACSO México.

rán, 2002). Tales transformaciones llevan a las universidades y centros tecnológicos a convertirse en actores decisivos en los procesos de desarrollo económico, a través de la interacción más directa y continua con los diferentes agentes de su entorno, especialmente con las empresas. De ahí que en los objetivos de este capítulo, interesa señalar las características del nuevo paradigma de manufactura digitalizada, como protagonista de una etapa disruptiva, identificada como “distinta al pasado” (Ford, 2015) por la velocidad, la extensión y el impacto en la sociedad. Las interrogantes que guían el trabajo, buscan fortalecer la coordinación multinivel para consolidar la comunicación y generar acuerdos y transversalidades entre programas nacionales y regionales de reindustrialización digital, orientar acciones públicas y privadas para alcanzar nuevas oportunidades sin descuidar las consecuencias sociales. Tales interrogantes se refieren a: ¿cómo la digitalización de la producción podría contribuir al desarrollo industrial, aun existiendo problemas no resueltos en la estructura industrial y productiva?, ¿qué capacidad tiene México de implementar una estrategia de este tipo, a nivel de la producción, de la disponibilidad tecnológica y de mercado?, ¿cómo los países industrializados han manejado la tensión entre la diversidad de los problemas productivos, comerciales, de estandarización inherentes al paradigma digital?, ¿qué nuevas redes se crearon para consolidar un entorno adecuado y multiplicar las interacciones, facilitar la información y propiciar nuevos estudios que complementen la colaboración pública-privada y orienten fondos de investigación hacia enfoques multidisciplinarios?

LAS RELACIONES UNIVERSIDAD-SECTORES PRODUCTIVOS:

UNA MODALIDAD DETERMINANTE PARA EL DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN

El avance sostenido del conocimiento científico en la producción abre una nueva oportunidad para que las universidades cumplan un papel protagónico en la traducción de los resultados de la investigación a la aplicación práctica, necesaria para los sectores industriales emergentes y la remodelación de los tradicionales. Además, constituye un elemento estratégico del sistema de innovación del país (Nelson, 1993; Rosenberg y Nelson, 1994) por su involucramiento en la elaboración e implementación de políticas en diferentes niveles de la vida social y cultural de la sociedad (Schoen *et al.*, 2006). El impacto de estas relaciones interinstitucionales (ciencia-industria) en el proceso de innovación se han estudiado desde diferentes enfoques disciplinarios como: la economía de la innovación, la organización industrial, la sociología de la ciencia y en los recientes análisis de ciencia y

tecnología. Desde la década de 1990 se multiplican los estudios sobre las relaciones ciencia e industria, especialmente a través de análisis cuantitativos de patentes, licencias y los efectos en diferentes sectores industriales (Thursby *et al.*, 2001), y las copublicaciones entre investigadores y empresas. Paulatinamente, a estos estudios se agregan nuevas dimensiones, entre las cuales se destacan: los cambios en la regulación legislativa (Mowery y Nelson, 2004); la nueva gobernabilidad propiciada por la diversidad de actores y la complejidad de las relaciones (Shane, 2005; D'Este y Patel, 2007; OCDE, 2003); la colaboración pública y privada a nivel de la investigación (Stiglitz y Wallsten, 1999; Perkman y Walsh, 2007; D'Este y Perkman, 2010); el surgimiento de nuevos enlaces organizacionales que juegan un papel de intermediación entre las universidades y los sectores productivos (Yusuf y Nabeshima, 2007; Casalet, 2008, 2010); las relaciones de proximidad que acentúan la colaboración (Bramwells y Wolfe, 2008; Ponds, Van Oort y Franken, 2007; Jaffe *et al.*, 1993; Audrestch y Feldman, 1996; Feldman, 1999; D'Este y Lammario, 2010); las vinculaciones informales y formales que articulan la relación universidad/empresas (D'Este y Perkman, 2010; Link *et al.*, 2007; Grimpe y Hussinger, 2008; Dutrénit *et al.*, 2010); y las estrategias empresariales para emprender investigaciones conjuntas (Brown y Ternouth, 2006; Webster y Swain, 1991). En los estudios más recientes, la preocupación recae en investigar: cómo se manifiestan estas nuevas relaciones universidad-empresas en el contexto de innovación, cómo las nuevas modalidades se encaminan a estrechar las colaboraciones públicas-privadas enfatizando el análisis en los canales que acentúan la interacción en base a la colaboración y los intercambios formales e informales. De esta forma, se desarrollan nuevas perspectivas que investigan las motivaciones y compromisos cuya evolución explican las relaciones inter organizacionales de transferencia de conocimientos formales e informales. El enfoque se amplió para incluir otras dimensiones como la importancia de los lazos de confianza, para incorporar el avance de los conocimientos y los efectos en los beneficios logrados por los protagonistas (investigadores, empresas, sector público), como las ventajas emergentes de los aprendizajes acumulados en las redes inter organizacionales creadas que abren nuevas oportunidades para el desarrollo de procesos futuros.

En el desarrollo de estos análisis se han identificado nuevas vías, formas o canales donde se transmite la información y se manifiestan las relaciones de colaboración con diferente intensidad y continuidad entre la universidad y el sector privado. En el trabajo presentado en Cohen *et al.* (2002), basado en una investigación aplicada a nivel empresarial, se distinguen diferentes modalidades de vinculación como: patentes, intercambios informales entre

investigadores individuales o en grupos con empresas, publicaciones y reportes, conferencias, seminarios, contratación de graduados, investigaciones conjuntas, contratos de investigación, consultorías (especialmente demandas por las Pymes). Schartinger *et al.* (2002) ponderan 16 tipos de interacción, agrupadas en cuatro categorías, donde identifica la importancia de la relación construida para la transmisión del conocimiento tácito: 1) investigaciones conjuntas (universidad-empresas) que incluyen publicaciones conjuntas cuyos resultados crean nuevas oportunidades de colaboraciones futuras; 2) contratos de investigación financiados por empresas, que tienden a resolver problemas específicos de la producción, donde es más difícil para los investigadores la recuperación de los resultados en publicaciones; 3) movilidad de investigadores y estudiantes de postgrado hacia la empresa y la participación de ejecutivos y/o personal vinculado con R+D de las empresas, en seminarios o estancias de formación; 4) capacitación orientada a la cooperación para mejorar las competencias de las empresas y la visión de los investigadores sobre las mismas, involucra actividades de consultorías, seminarios. Las precedentes tipificaciones se caracterizan por la implicación del investigador y/o grupos de investigación con el desarrollo de proyectos específicos, cuyos resultados benefician individualmente (investigadores y empresarios), y a las organizaciones de pertenencia, en la medida que se resuelven problemas y se generan expectativas de futuros intercambios e investigaciones. De esta forma, los intercambios pueden tener un carácter bidireccional donde hay transmisión que involucra activamente a investigadores y empresas, o pueden ser unidireccionales como es el caso de la consultoría, o investigaciones solicitadas por las empresas con fines específicos a cumplir. La colaboración entre actores con sistemas organizativos y de incentivos tan diferentes no es fácil, requiere orientación y coordinación sobre: cómo abordan la relación y distribución de beneficios, tanto referidos al conocimiento como a la comercialización de los resultados. El uso de los diversos canales de transferencias de conocimiento presentan particularidades y complejidades que dependen de múltiples factores, entre los más significativos figuran: el sector industrial; las regiones de localización; las trayectorias de las disciplinas involucradas; la duración de los contratos; la flexibilidad organizativa de la universidad (facultad, grupo de investigación, oficina de TT) para resolver los acuerdos, considerar los incentivos y canalizar resultados hacia nuevas alternativas para la investigación. La naturaleza de la colaboración emprendida puede facilitar la construcción de un capital social para las disciplinas y las organizaciones, basado en la confianza, la interacción y la acumulación de aprendizajes para el desarrollo de la innovación.

CAMBIOS RELEVANTES EN LAS POLÍTICAS PARA FAVORECER
LA INVESTIGACIÓN Y LA RELACIÓN UNIVERSIDAD-SECTORES
PRODUCTIVOS A NIVEL INTERNACIONAL

En las últimas dos décadas se han experimentado cambios importantes en el modo de producción de los conocimientos, en la estructura organizativa de las universidades, de los centros públicos de investigación, en la búsqueda de nuevas fuentes de financiamiento para el desarrollo de la investigación. Estas transformaciones modificaron sustancialmente las relaciones entre los diferentes agentes económicos y sociales (empresas, sectores, regiones, gobierno, sociedad civil, investigadores y estudiantes de posgrado). En la experiencia internacional, Estados Unidos inicia tempranamente la organización de oficina de transferencia de tecnología, como una vía para transmitir los hallazgos de la investigación a la sociedad. Uno de estos ejemplos es la Wisconsin Alumni Research Foundation (WARF) fundada en 1925. Otras universidades siguieron este ejemplo: en 1935 la Universidad de Iowa, el MIT en 1940, The Kansas State University Research Foundation en 1942. La aprobación de Bayh Dole Act en 1980, no sólo crea una homogeneidad en la negociación, sino que dispara la creación de oficinas universitarias dedicadas a la difusión y transferencia de tecnología. Un estímulo determinante fue la investigación biomédica (Mowery, Rosenberg *et al.*, 1999; Mowery y Ziedonis, 2007), como la existencia de centros tecnológicos en ingeniería, química y agricultura que atendían las necesidades de crecimiento del sector privado. El éxito de la comercialización de los conocimientos en el caso estadounidense, dependió de múltiples factores, unos vinculados con la historia y la generación de políticas del país, donde la regulación de las transacciones para la comercialización estimuló la promoción de la colaboración entre las universidades y el sector privado (O'Shea *et al.*, 2004). Otros provenientes del entorno social, o sea, de la facilidad relacional inter-institucional consolidada a nivel nacional y regional para transferir información y conocimientos que eleven la capacidad de absorción y de innovación (Nelson, 1993). Los factores internos como la estructura organizativa de las universidades incidió en la oferta de incentivos para la investigación y la vinculación, también el desarrollo de una cultura innovadora, tanto para los encargados de la gestión como para los investigadores (Zucker *et al.*, 1998; Kenney, M. and Goe, R. W., 2004; Shane, S., 2005). La dinámica de colaboración con los sectores productivos fue propiciada por un proceso descentralizado donde cada Estado trató de captar para sus universidades los investigadores más competentes, con incentivos que compensarán el interés por la investigación y la aplicabilidad de los conocimientos. Las universidades estadounidenses se posicionaron en condiciones favorables para atraer

fondos públicos federales, estatales, locales y empresariales, gracias al prestigio y calidad de la investigación (Mansfield, 1991, 1995), la alta movilidad de los investigadores y estudiantes con el sector empresarial, las patentes logradas y los proyectos de colaboración en la investigación emprendidos con las empresas. La idea tradicional de comercialización de los conocimientos, basada en patentes y licencias desplegadas por las universidades estadounidenses, ha evolucionado hacia la tercera misión que se agrega a las funciones básicas de formación y la investigación. La transferencia de conocimiento y comercialización jugó un papel activo, especialmente en la organización de parques industriales e incubadoras, base de apoyo del comportamiento emprendedor sustentado por algunos investigadores (Etzkowitz, 2003; Franzoni y Lissoni, 2009). La realización de proyectos conjuntos emprendidos con las empresas, la prestación de servicios profesionales y la consultoría constituyen contribuciones al desarrollo económico y crecimiento del empleo en el país y las diferentes regiones (Feller, 1990). El desarrollo del Silicon Valley y la Ruta 128 ilustra el éxito de esta concentración territorial con redes horizontales formales e informales, establecidas con actores locales que fomentan la innovación y la circulación de la información con sólidos enlaces con el mercado logrados por las competencias gerenciales y de marketing. Algunos autores (Minsahl, T. *et al.*, 2004; Breznitz y Feldman, 2010) plantean que esta nueva inserción de las universidades en el desarrollo económico local, supone una transición hacia una participación más activa en el desarrollo basada en el impacto social y económico, por la vía de la transferencia de conocimientos, más que la tradicional función de comercialización.

En los países integrantes de la Unión Europea también se adoptaron iniciativas, cuyos resultados reflejaron el incremento de las colaboraciones públicas-privadas, para el desarrollo de la competitividad a nivel nacional y regional, frente a las exigencias de la globalización y la sociedad del conocimiento. La llamada “paradoja europea”, o sea, la relativa debilidad del desarrollo científico como impulsor de la producción industrial innovativa, fue la clave para la adopción de políticas de despegue en los países de la OCDE, centradas en la eficiencia de la actividad científica a nivel internacional, europeo, nacional, regional y local. El surgimiento de los Programas Marco en 1984, proporcionó otro gran impulso a la competitividad, la innovación y la colaboración transnacional e internacional para crear redes de investigación interinstitucionales. La diferencia con programas anteriores de financiamiento a la investigación radica en que estos múltiples fondos, instrumentos, y acuerdos, especifican objetivos a alcanzar mediante la colaboración de actores heterogéneos o multiactores que involucra a las universidades, centros de investigación, grupos de investigación pertene-

cientes a diferentes universidades, empresas, programas del sector público, fundaciones y organización de la sociedad civil (Casalet y Stezano, 2009). El fomento a la investigación multidisciplinaria e interinstitucional es un tema central de las políticas en CTI adoptadas por la Unión Europea, articuladas en un doble movimiento *top-down* y *botton-up*. La búsqueda de la excelencia llevó a un compromiso en el consenso social para que el financiamiento rindiera los frutos proyectados. Entre las nuevas organizaciones que surgen para coordinar la diversidad de fondos públicos-privados para apoyar y profundizar las colaboraciones universidad-empresas, o sea la investigación y la transferencia de conocimientos, destacan: los centros de competencia, los centros de investigación colaborativa para la investigación, Programa Partners UK, los consorcios para la innovación y el fomento de agrupamientos de alta tecnología como Cambridge Science Park, impulsado por la Universidad de Cambridge, concentrando fondos públicos y privados con 959 establecimientos de alta tecnología, empleando a 31 mil con una orientación preferente hacia negocios basados en conocimiento (Lambert, 2003).

CASOS SIGNIFICATIVOS EN DESARROLLO DE LA DIGITALIZACIÓN, DE LA PRODUCCIÓN Y EL AVANCE EN EL FORTALECIMIENTO DE LAS REDES PÚBLICO-PRIVADAS DE VINCULACIÓN

El caso de Alemania: una red consolidada de alianzas para la innovación

La tecnología y los nuevos modelos de innovación incrementan la complejidad de la producción y los productos. El incremento de la capacidad de comunicación, procesamiento y de interacción con el entorno, aunado a la reducción de costos, permitió el trabajo colaborativo entre dispositivos y agentes. La complejidad tecnológica actual es un medio para optimizar los procesos, también supone un poder para crear disrupciones en la cadena de valor, extender a nuevos sectores y diseñar modelos de negocios innovadores (McKinsey Global Institute, 2012 y 2017).

Internet industrial que articula el mundo digital con el mundo de las máquinas, combina el sistema industrial con el avance de la computación, ya que facilita la recolección de grandes volúmenes de datos conectados con 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. El uso de Internet de las Cosas (IoT) permitió servicios avanzados mediante la interconexión física y virtual. IoT significa redes de electricidad, software, sensores, conectividad embebida con las “co-

sas” o los objetos físicos. El sistema recoge información e intercambia datos cuyos efectos mejoran la productividad y la economía en la manufactura (Williams, 2014).

La nueva apuesta de futuro de Alemania (exportada al resto de Europa y China) se orienta al desarrollo de Industria 4.0 (I4.0), basada en la integración de sistemas de producción ciberfísicos en manufactura y logística, como al uso de internet de las cosas y los servicios en los procesos industriales (Kagermann *et al.*, 2013; Acatech, 2011; Menon, Kärkkäinen y Lasrado, 2016). La Industria 4.0 conectada con los avances de la cuarta revolución industrial, conjunta el incremento de las capacidades de comunicación, de procesamiento y de interacción con el entorno, con costos que se reducen de forma exponencial basados 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.*, 2015), cada vez más dirigido a satisfacer las necesidades del cliente, con un desarrollo *end-to-end* incluyendo los servicios asociados. El papel asignado al aprendizaje continuo de los trabajadores —compartido por los actores sociales de la industria (centrales sindicales, grandes empresas, gobierno federal, centros tecnológicos y universidades)— contribuyó a reforzar alianzas entre el sector público y el privado, a pesar de las diferencias entre los distintos grupos para orientar fondos al logro de la I4.0. Desde 2006 el gobierno alemán impulsó internet de las cosas y servicios a través de la estrategia de High Tech, que involucró múltiples programas, entre otros la alianza de investigación entre la industria y la academia para la innovación. En 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; y 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 TIC. La creciente importancia del desarrollo de producción “personalizada” o adaptada a las necesidades del consumidor deja atrás la producción en masa estandarizada y se focaliza en la demanda orientada a las necesidades, a veces cambiantes, del consumidor. Esto implica dotar a las empresas de las capacidades para contar con un portafolio de productos diversos y cambiantes, que lo hagan adaptable, flexible en el área de logística, equipamiento y maquinaria, con capacidad de auto-aprendizaje, tolerante a los fallos y gestor de sus propios riesgos (Navarro y Sabalza, 2016; Maier, Korbelt y Brem, 2015; Brettel *et al.*, 2016). En este contexto, que combina el fortalecimiento de la actividad industrial junto con la revolución digital, el gobierno alemán lanza la Industry 4.0 como

apuesta de futuro, cuya influencia se ha extendido a múltiples países como Corea, China y a la Comunidad Autónoma del País Vasco. 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 y los informes de tendencias muy superior a su presencia real en las fábricas, lo cierto es que se trata de una tendencia imparable. 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 (Drath y Horch, 2014). La Plattform Industry 4.0 —surgida de estos acuerdos estratégicos público-privados— se constituye como una red abierta de transferencia de información y colaboración que agrupa a actores públicos como los Ministerios de Economía y Energía, de Educación e Investigación, grandes empresas, centrales sindicales y paulatinamente se extiende a las universidades y centros de investigación para hacer efectivos los diagnósticos e investigación sobre el proceso, la implementación y evaluación del nuevo modelo. El sector público, representado en los Ministerios de Economía y de Educación (BMWV y BMBWF), asume un papel activo para desarrollar la agenda de la Plattform 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 a nivel industrial (Plattform Industrie 4.0, 2015).

A través de 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. Plattform Industria 4.0 formó cinco grupos de trabajo abiertos a los interesados (empresas, organizaciones sindicales, instituciones de investigación) para resolver y orientar sobre problemas centrales de ejecución e implementación, tales como: 1) creación de una arquitectura de referencia para estándares y normas, con el fin de coordinar las actividades de estandarización en el área de I4.0 y realizar recomendaciones para la estandarización global en las aplicaciones industriales; 2) impulsar la investigación e innovación con el interés de generar nuevos escenarios para el desarrollo de la I4.0 e identificar nuevas necesidades de investigación; 3) seguridad y sistemas de redes para favorecer el manejo confiable de los datos y la protección de em-

presas, especialmente Pymes; 4) marco legal con la finalidad de examinar los aspectos determinantes de la economía digital desde una perspectiva legal; 5) trabajo, educación y formación, orientado a fortalecer los aprendizajes y el futuro del trabajo identificando las oportunidades y riesgos en el trabajo, las condiciones, los cambios que introduce la transformación digital. 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 *et al.*, 2017), 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.

Los grupos de trabajos impulsados por Plattform 4.0 cumplieron con diversas actividades desde: diagnósticos y elaboración de mapas de ruta, la alineación y coordinación de actividades con la industria, la creación innovadora de una nueva orientación legal basada en la comunicación (ahora controlada por la máquina) para substituir los vacíos de la ley actual basada en el control del hombre. La idea subyacente es apoyar prácticas comerciales en el desarrollo e implementación de nuevos estándares y modelos de negocios, como prestar atención sobre aquellas áreas donde las soluciones de la legislación son necesarias y cubren vacíos que emergen con la digitalización (Rohleder, 2017; Plattform Industrie 4.0, 2016; Brettel *et al.*, 2016). En las recomendaciones de políticas diseñadas para aplicar en el presente e integrar en el futuro la digitalización a la cadena de producción, las propuestas de Plattform 4.0 se concentran en: la estandarización, la ciberseguridad y el apoyo a la integración de las Pymes en la cadena de valor digitalizada, para superar los desafíos pendientes como interoperabilidad y calificación del personal. En los diferentes diagnósticos realizados por los grupos de trabajo organizados por Plattform 4.0, se identificaron múltiples necesidades para generar un entorno favorable a la digitalización de las Pymes, tanto en la calificación como en las nuevas exigencias del sistema sociotécnico. En términos de estrategia de innovación, la I4.0 (como sistema sociotécnico) se articula en la potencialidad de la ingeniería, profundizando un enfoque tecnológico de la innovación. Aunque también se manifiestan con diferente grado de intensidad diversos actores sociales (investigadores, sindicatos) que inician una discusión hacia una visión más amplia enfatizando el aporte a la sociedad y los beneficios que pueden obtener diversos grupos de usuarios del modelo I4.0, ya sean investigadores, clientes, productores, proveedores, trabajadores o ciudadanos involucrados. Esta reflexión proviene también del Ministerio de Educación (BMBF), preocupado por plantear un visión más amplia de la innovación, no exclusivamente tecnológica, sino ampliar la oportunidad y minimizar riesgos para la sociedad y la inte-

gración social. El interés es desplazar la excesiva atención del potencial de mercado tecnológico individual, hacia las necesidades de diferentes colectivos, para lograr soluciones sostenibles. Extendiendo la reflexión hacia nuevas soluciones a los problemas sociales, con formas organizativas colaborativas y estrechas conexiones para mejorar el desarrollo económico y la cohesión social.

*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, hoy es la base de sustentación del tejido productivo de la nueva industrialización digital. Las fortalezas del sistema regional de innovación vasco se han basado tradicionalmente en varios aspectos, entre los que destacan los siguientes: 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.

El estudio sobre esas asociaciones, realizado por Aranguren *et al.* (2009, 2016), señala el desafío que significó para los agrupamientos consolidar el tejido productivo y relacional. 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. En los últimos años, las estrategias de especialización inteligente se han extendido en el panorama europeo e internacional a las agendas regionales de ciencia, tecnología e innovación. Como consecuencia, han quedado en un segundo plano las estrategias y políticas basadas en concepciones más horizontales, como son las apalancadas sobre el concepto de sistemas de innovación. No obstante, una estrategia de especialización es inteligente si se basa en un sistema regional de innovación sofisticado o eficiente, o incluso en sistemas sectoriales de innovación con una perspectiva que no es sólo regional, sino también internacional (Orkestra, 2017).

La CAPV es una de las pocas regiones europeas que la literatura ha considerado como un sistema regional de innovación “real” (Cooke *et al.*, 2000), además de ser una de las más avanzadas en la implementación de una estrategia de especialización inteligente.

El Plan de Industrialización 2017/20 consiste en generar 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, facilitar la interacción público-privada (Gobierno Vasco, 2017). El Plan asume plenamente el modelo de Industria 4.0. La continuidad y expansión se expresa con “Basque Industry 4.0” 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 de industrialización 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 TEIC y sectores conexos bajo la estructura organizativa de la clusterización y la especialización inteligente. Las nuevas tendencias que ya afectan a la industria son: la digitalización y servitización asociadas 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 analítica de datos, *cloud computing* 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.

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 existentes. Integrar cadenas de valor globales (locales e internacionales) para la fabricación avanzada, impulsar los acuerdos de colaboración público-privados que aceleren la industrialización de los resultados de la I+D+i en fabricación inteligente. Los sectores productivos son cada vez más conscientes que deben incorporar el desarrollo de TIC en sus sistemas.

El PCTI 2020, aprobado a finales de 2014, complementó y reforzó en la I&D el fortalecimiento de la I4.0. Una de las principales aportaciones y novedades del Plan de CTI 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 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. La fabricación avanzada es una de las prioridades identificada en los diversos planes de industrialización y en el Plan CTI, tiene una aplicabilidad transversal en un territorio con definida vocación industrial. Entre los objetivos de la política de ciencia y tecnología se destacan reforzar los vínculos entre la política científico-tecnológica y la política clúster. Aunado a esto los apoyos de programas de la Unión Europea, el gobierno vasco y las empresas, donde juegan un papel activo los centros tecnológicos y las instituciones intermedias para consolidar alianzas públicas-privadas y encauzar fondos europeos, para desarrollar actividades de investigación, publicación y transferencia de conocimientos. Donde se destaca el trabajo logrado por IK4 que es una alianza privada de nueve centros tecnológicos con fuerte vinculación con las empresas. El objetivo prioritario de IK4 es mejorar la eficacia de los centros tecnológicos al servicio de la competitividad empresarial, tiene un activo papel en varios sectores de actuación como: fabricación inteligente en procesos de mecanizado, procesos de deformación, fabricación continua, gestión de producción, fabricación aditiva, CPS, big data, cloud computing, ciberseguridad, apoyado en diferentes tecnologías horizontales estratégicas como TEIC, mecatrónica, materiales y nanotecnologías.

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), una 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, programas y sectores.

- Agencias públicas y privadas que apoyan en el desarrollo y difusión de la Industria 4.0

La Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial (SPRI) tiene un activo papel en la implementación de Basque Industry 4.0, además de ser la responsable para atraer y facilitar las inversiones extranjeras a través del servicio Invest in Basque Industry. Contribuye a complementar la estrategia territorial a

través del 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. Las soluciones que buscan lograr a futuro son: 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.

La 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.

Escuela de Innovación es una plataforma de trabajo para promover la innovación en el ámbito educativo, mediante la aplicación de STEM (Science, Technology, Engineering, Maths) y STEAM consiste agregar a las siglas inglesas STEM, Arte y Diseño, con esta formación se busca complementar el aprendizaje de contenidos científicos y tecnológicos con el desarrollo del pensamiento divergente y el incremento de la creatividad, hibridando disciplinas para obtener experiencias educativas más transversales que integran la complejidad de los problemas.

La 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, 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, Tecnalía Ventures. Los inversores institucionales son Seed Capital Bizkaía, Gestión de Capital de Riesgo del País Vasco (SGECR). Las ventajas que ofrece a red a los emprendedores son: 1) conectar inversores, financiadores y promotores;

2) simplificar a los emprendedores el acceso a una amplia red de inversores; 3) asegurar la continuidad de las inversiones a través de los distintos estadios del proyecto empresarial; 4) ofrecer a los emprendedores un feedback calificado por parte de expertos e inversores; 5) facilitar la coinversión entre inversores y financiadores de distintos perfiles (tecnológicos, financieros y público-privados).

Mondragón es uno de los principales grupos empresariales de España. Conformado por 268 empresas y cooperativas, en 2016 tuvo ingresos de cerca de 12 mil millones de euros y cuenta con 73 635 trabajadores. Altamente diversificado (finanzas, automotriz, máquinas herramientas, industria, distribución). El grupo cuenta con una universidad privada. En 2016 se definen como estrategias básicas, la fabricación avanzada, smart cities, big data y materias primas.

ORKESTRA, creado en 2016 como el Instituto Vasco de Competitividad, ha sido desde su fundación 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: clusters, 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.

Estados Unidos: de la manufactura avanzada a la fabricación inteligente

La estrategia impulsada en Estados Unidos por el ex presidente Obama de “manufactura avanzada”, perseguía recuperar la actividad industrial perdida por los procesos de deslocalización. El movimiento de la producción *offshoring* provocó en Estados Unidos una pérdida de la capacidad de producción industrial que debilitó las capacidades de investigación, las aptitudes y 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 PCAST (2011), la estrategia estadounidense se focalizó a 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 finalidad fue elaborar escenarios de futuro para una aplicación efectiva de la estrategia nacional basada en previsiones económicas y *foresight* sobre diferentes áreas (defensa, energía, salud, industria, seguridad, economía y mercados globales), a través de un proceso interactivo de comunicación continua y elaboración de documentación conjunta entre la industria, la academia y el gobierno. El gobierno en esta fase cumplió un papel fundamental para orientar la investigación y la infraestructura, con el interés de articular una economía en red. Los desafíos que estaban dirigidos a varios niveles (macro económico, específicos para los sectores que se buscaron consolidar y las empresas, especialmente Pymes) canalizando los apoyos hacia la I&D, la formación continua e integral (jóvenes y veteranos) de los trabajadores, como la orientación de la inversión productiva reconstruyendo los mecanismos para crear y compartir las mejoras de productividad (PCAST, 2011).

La creación de la Red Nacional para la Innovación en la Manufactura (NNMI) constituye una vasta red de centros regionales 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 fondos no federales para organizar una red de investigación aplicada en manufactura avanzada y aditiva.

En 2014 se lanza una fase de profundización en la creación de una estructura organizativa de apoyo público-privado, en 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, a través de la Iniciativa Manufacturing USA.

La profundización del concepto de digitalización en la producción como la ampliación de la estructura organizativa de apoyo, se denominó Revitalize American Manufacturing and Innovation Act de 2014 (RAMI), la cual estaba orientada a reforzar la Red para la Innovación en la Manufactura Inteligente. El Programa Manufacturing USA depende de 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 que inicialmente se denominaron NNMI, más los que se adicionaron, como los institutos creados por el Departamento de Defensa (DoD) y Energía (DOE) (Manufacturing USA, 2017; Lu, Morris y Frechette, 2016). Para promover la actual informatización de la producción y superar las dificultades y desafíos anteriores, se han acumulado muchos procesos y vías dentro de la producción desde: la fabricación flexible (FMS), la producción esbelta (LP), la manufactura integrada por la computadora (CIM), manufactura virtual, fabricación

en redes. Recientemente con la integración de la información, el manejo de datos y la integración empresarial se ha logrado un gran avance en la producción, la teoría y las tecnologías claves (Tao, Laili, Zhang, Zhang y Nee, 2014). El avance de internet de las cosas y servicios desata la innovación en una amplia gama de sectores. Esto provoca el tránsito de la manufactura avanzada a 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 Red de Manufacturing USA se estructura en varias modalidades organizacionales, tales como: relaciones bilaterales organización/organización (industria-universidad); Institute-Consortium, involucra a diversas organizaciones que crean y desarrollan valor a través de la colaboración competitiva. Los objetivos del Consorcio son lograr algo que está más allá del alcance de cualquier actor individual. Los institutos son ecosistemas que como espacio común de confianza promueven y estimulan las asociaciones entre actores. Un ejemplo es América-Makes y sus miembros. Por último la modalidad de redes es 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).

LAS OPORTUNIDADES EN MÉXICO PARA CONSOLIDAR EL DESARROLLO DE DIGITALIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN

En México, en las últimas dos décadas, se han experimentado cambios importantes en el modo de producción de los conocimientos, en la estructura

organizativa de las empresas y en la articulación de las cadenas de valor vinculadas con sectores estratégicos receptores de los cambios tecnológicos y productivos. Estas transformaciones modificaron sustancialmente las relaciones entre los diferentes agentes económicos y sociales (empresas, sectores, regiones, gobierno, sociedad civil, investigadores y formación de posgrado). En la actual encrucijada de profundas transformaciones a nivel internacional y nacional por la asimilación de los procesos de fabricación digital, se plantean nuevas incertidumbres, especialmente en ciertas formas de organización que se vuelven inutilizables para enfrentar la velocidad de los cambios. En el análisis realizado precedentemente se identificó la importancia de las nuevas estrategias de digitalización, como las opciones realizadas por los diferentes países industrializados para encaminar la estructura industrial y asimilar las tecnologías básicas como computación en la nube, *big data*, que permiten avanzar en la integración de la colaboración entre dispositivos y agentes. El uso de internet de las cosas permitió estos servicios avanzados mediante la interconexión física y virtual, articulando el mundo digital con el mundo de las máquinas. El término de Industria 4.0 como sistema sociotécnico, transmite la potencialidad de la ingeniería en la resolución del proceso de producción, si bien acentúa el enfoque tecnológico de la innovación, abre perspectivas más profundas que pone en cuestión no sólo la frontera entre la producción y los servicios, sino que activa en todos los países analizados, nuevos acuerdos sociales de colaboración pública-privada, que dan lugar a iniciativas y reflexiones interinstitucionales, ya sea para generar diagnósticos, mapas de rutas sobre la situación de los sectores de aplicación en extensa colaboración con grupos de la industria, el gobierno, instituciones intermedias, la universidad y los centros de investigación y sectores organizados de la sociedad civil. En los casos internacionales expuestos se identificaron las alianzas y acuerdos interinstitucionales que sostienen y mantienen la aplicación de la Industria 4.0, cuya continuidad de trabajo instauró una nueva gobernanza pública-privada, involucrando a los agentes participantes en múltiples redes de trabajo, de estudio de nuevas problemáticas como: estandarización, ciberseguridad, inserción de las Pymes en los procesos digitalizados, flexibles y personalizados de la cadena de valor digitalizadas.

En el caso de México no existe una orientación específica en las políticas públicas para incentivar las estrategias de reindustrialización digital. El PECTI 2014-2018 ya perfilaba débilmente la importancia de la manufactura avanzada en la producción, pero no se diseñaron programas detallados ni tampoco fondos de investigación para iniciar la aplicación de la I4.0 Los desafíos fueron establecer prioridades nacionales para el desarrollo de *software*, energía y salud. La digitalización de la producción, la integración de

los procesos y máquinas son una problemática reciente. Para México será una preocupación de los próximos Planes Nacionales de Desarrollo (que se inicia en el 2018 con el cambio de gobierno sexenal), con nuevas propuestas que se plasmarán en los correspondientes programas industrial y CTI. La situación actual se perfila distinta, dado el creciente interés y preocupación de fuertes grupos por obtener información sobre estos procesos: en el ámbito empresarial, de los gobiernos estatales, los clústeres automotriz, TIC, aunado al trabajo de investigación iniciado en los Centros Públicos de Investigación Conacyt (CPI) para prever desarrollos analíticos avanzados que faciliten la obtención de datos de múltiples fuentes en los desempeño de las máquinas, el monitoreo de movimientos en la gestión de la información mediante la estandarización de entrega de datos, los desarrollos de procedimientos de conectividad, para la operación y comercialización, la digitalización de la cadena de suministros y mejorar la formación y aplicabilidad de las exigencias de la I4.0.

Paulatinamente, surgen iniciativas a nivel estatal, en las organizaciones intermedias (FCCyT, FUMEC, CANIETI), en organismos públicos vinculados con la industrialización (Secretaría de Economía, Conacyt, ProMéxico) por reflexionar e investigar las experiencias internacionales, analizar las respuestas implementadas para resolver situaciones dentro de las empresas y con el entorno del proceso productivo, con la finalidad de divulgar y concientizar a los agentes públicos y privados sobre la naturaleza y alcance de los cambios.

Bases para la sustentación de la industrialización digitalizada y la consolidación de nuevas modalidades organizativas

La construcción de redes multifuncionales crea un entorno favorable al crecimiento, ya que facilita el conocimiento mutuo, la colaboración y el intercambio de información, ofreciendo oportunidades para compartir los conocimientos entre las empresas, las instituciones de investigación y de asistencia especializada. Dicha circulación de la información preserva la formación de comportamientos oportunistas y hace más difícil la formación de coaliciones regresivas. Los clústeres productivos con continuidad y capacidad de apropiación de nuevas tecnologías y vinculación efectiva con las instituciones de investigación (CPI, institutos tecnológicos, universidades) se localizan en los sectores automotrices, aeroespaciales, de TIC, electrónicos con relaciones consolidadas, relaciones entre empresas, proveedores, centros de investigación, institutos tecnológicos, instituciones intermedias, agencias gubernamentales. A pesar de las discontinuidades producidas en las políticas de apoyos debido a los cambios en los gobiernos y

estrategias estatales, se logró conciliar un campo de interés mutuo que favoreció la creación de nuevas modalidades de transferencia de conocimiento, formalizadas en oficinas de transferencia y complementadas 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 existen islas de conectividad micro-macro en ciertos agrupamientos regionales (software, aeroespacial, electrónico, automotriz) y parques industriales (PIIT-IT cluster en Monterrey, 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 anclas para reforzar las cadenas de proveedores. En diferentes regiones del país se generaron agrupamientos industriales (Baja California, Chihuahua, Jalisco, Querétaro, Aguascalientes, 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 sólo producto de la coincidencia geográfica, 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, se complejizaron los intercambios (tecnológicos, asociativos, de capacitación) ahora útiles para el desarrollo de la Industria 4.0.

Programas desarrollados por Conacyt orientados a generar conocimiento de frontera y consolidar las relaciones de colaboración públicas- privadas

El programa de Nodos Binacionales de Innovación busca fomentar la comercialización de tecnologías que se desarrollan en universidades y centros de investigación, así como la generada desde la propia iniciativa privada.

La idea central es que se creen tres nodos (cada nodo es un grupo de instituciones de educación superior y centros de investigación) que se dediquen a promover el programa (NoBis) en sus regiones o en sectores bien definidos.

Al 2016 se han llevado a cabo dos capacitaciones: la primera organizada por la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (Fumec), donde participaron 15 equipos. La segunda realizada en el Tecnológico de Monterrey con una participación de ocho equipos. En ambos casos, los instructores fueron designados por la NSF y traídos desde Estados Unidos para trabajar con los equipos participantes (Bonilla, 2016)

El Programa COBI, establecido entre Conacyt y la National Science Foundation (NSF), está orientado a organizar Consorcios Binacionales de Innovación (CoBI) con la finalidad de promover la colaboración internacional y el desarrollado de investigaciones bilaterales que contribuya a desarrollar nuevos aprendizajes en los investigadores mexicanos, especialmente en el área de comercialización de tecnología. Este programa va dirigido a instituciones de Educación Superior (IES), Centros de Investigación (CI), instituciones de salud y otra figura académica o de investigación, con programas de posgrado en el PNPC del Conacyt (Conacyt, 2015).

Los CoBI apoyan la operación de los Consorcios Academia-Industria en temas tecnológicos relevantes e impulsan la vinculación a largo plazo con la industria, a través de un modelo de asociación público-privada con una gobernanza efectiva en coordinación con los centros de investigación colaborativos academia-industria (IUCRC, por sus siglas en inglés) de la NSF. Los temas de investigación iniciados están vinculados con la apropiación de nuevas tecnologías digitales en la producción, en la biotecnología y nanotecnología. Aunque la formación de consorcios está en una etapa inicial, ha generado en los investigadores mexicanos que los integran un aprendizaje importante en la construcción de diálogos con pares y creación de redes de conocimiento, gestión y comercialización de proyectos que significan un avance para los grupos de investigación y las instituciones participantes (CPI, universidades, institutos de investigación).

Fondos de investigación en fronteras de la ciencia

Este programa del Conacyt establece apoyos directos a la investigación en ciencia y tecnología que permiten un valor elevado de nuevas ideas; consolidar las instituciones existentes dedicadas a la ciencia y la tecnología para atender las necesidades actuales de generación y aplicación del conocimiento y las que provengan del surgimiento de temas emergentes, así como aprovechar las oportunidades brindadas por el capital humano. Este esquema de apoyo pretende que investigadores en México sean apoyados con recursos

que los motiven a expresar su creatividad y a generar revoluciones conceptuales del saber (Conacyt, 2015). Es una instancia muy importante para evaluar la integración del conocimiento en la producción y consolidar grupos multidisciplinarios que conduzcan los proyectos innovadores con repercusiones para abrir nuevos campos y generar nuevas redes. Los problemas de este fondo de investigación radican en las asignaciones para evaluar la calidad y excelencia de proyectos innovadores con pares que no conocen la problemática y cuyos criterios de científicidad son limitados a sus propias redes.

Redes Temáticas Conacyt: una intermediación compleja

Las Redes Temáticas tienen como objetivo construir plataformas de intercambio de conocimiento y difusión entre investigadores, empresarios y sector público sobre áreas de interés para el desarrollo del conocimiento y la sociedad, considerando las áreas estratégicas y de atención de los problemas del país. La finalidad de las redes temáticas es facilitar el intercambio de conocimientos y generan sinergias con nuevos agentes fomentando la interacción interinstitucional y la multidisciplinariedad de los enfoques. Las redes temáticas actúan como organizaciones intermedias para fortalecer la construcción y desarrollo de espacios de aprendizaje multidisciplinarios, temas estratégicos que respondan a problemas nacionales (científicos, tecnológicos y sociales) y procuren 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. Las áreas son: ambiente, conocimiento del universo, desarrollo sustentable, desarrollo tecnológico, energía, salud y complejidad de la sociedad.

Nueva estructura organizativa de los CPI con una visión convergente y multidisciplinaria: una respuesta para afrontar los cambios del conocimiento

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (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, 2017), 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 en 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 para el año 2018. 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 responde a consolidar un enfoque transversal, favorecer la mayor comunicación y cooperación entre centros, con una visión de investigación multi y transdisciplinaria, así como 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 alineará sus capacidades para atender problemáticas específicas a través de proyectos con diferentes 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 (FLACSO México) y un Fideicomiso (FIDERH).

La creación de los consorcios busca, por un lado, mejorar el aprovechamiento de los recursos humanos y materiales instalados en los centros de investigación. Por otro lado, impulsar el desarrollo regional e industrial.

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 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). La creación de los consorcios servirá como un instrumento de apoyo para los centros, en la construcción de un espacio de aprendizaje, de gestión de proyectos y generación de nuevas pautas de comportamientos y de criterios para evaluar el trabajo en equipo de los investigadores.

CUADRO I
REORGANIZACIÓN DE LOS CENTROS CONACYT
EN LOS CONSORCIOS Y COORDINACIONES

| <i>Sector</i> | <i>Nombre consorcio</i> | <i>Centros</i> | <i>Especialidad</i> | <i>Ubicación</i> |
|------------------------------|-----------------------------|---|---|--|
| Manufactura avanzada | CITTA | <ul style="list-style-type: none"> • CIO • CIATEC • CIATEQ • CIDESI • CIDETEQ • CIMAT • CIMAV • CIQA • COMIMSA • INAOE • INFOTEC • IPICYT | Automotriz | Aguascalientes, Aguascalientes |
| | CENTA | <ul style="list-style-type: none"> • CIATEC • CIATEQ • CIDESI • CIDETEQ • CIMAV • CIQA • COMMIMSA • INAOE | Aeronáutica | Parque Aeroespacial de Querétaro, Querétaro |
| | Consortio SLP | <ul style="list-style-type: none"> • CIDESI • CIATEQ • COMIMS | Matelurgia y Minería (herramientales, troqueles y moldes) | San Luis Potosí |
| Energía renovable | COA | <ul style="list-style-type: none"> • CICESE • CIO • INAOE | Óptica aplicada | Monterrey, Nuevo León |
| Hidrocarburos | Consortio Ciudad del Carmen | <ul style="list-style-type: none"> • CIATEQ • CIDESI • CIQA • COMIMS | Energía-hidrocarburos | Ciudad del Carmen, Campeche |
| Agroalimentarios | ADESUR | <ul style="list-style-type: none"> • CentroGeo • CIAD • CIATEJ • CICY | Agroalimentario | Acapulco, Guerrero |
| | Consortio Agro-Hidalgo | <ul style="list-style-type: none"> • CIAD • CIATEJ | Agroalimentario, biotecnología | Pachuca, Hidalgo |
| Multidisciplinarios sociales | INTELNOVA | <ul style="list-style-type: none"> • CentroGeo • CIDE • CIMAT • INFOTEC | Políticas públicas, geomática y big data | Parque Industrial Tecnopopo Pocitos II, Aguascalientes, Aguascaliente. Yucatán |
| | CentroMet | <ul style="list-style-type: none"> • CentroG • CIDE • CIDESI • EL COLE • INFOTEC • MORA | Estudios Metropolitanos | Querétaro, Querétaro |

FUENTE: disponible en <<http://www.conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politica-cientifica/15630-reorganizan-sistema-centros-publicos-investigacion-conacyt>>.

La complejidad de la estructura institucional: la acción de organizaciones intermedias

A medida que 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 (público, privado) contribuyen a desarrollar una diversidad de redes multifuncionales que alientan la colaboración. Aunque la potencialidad de estos logros está determinada por la confrontación exitosa con los mercados. 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, también ciertas asociaciones empresariales (CANIETI en múltiples estados ha jugado un papel importante para consolidar el sector de software); los Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología han desempeñado funciones de intermediación al promover la formación de redes inter organizacionales, el flujo de conocimientos y la comunicación cuyo impacto puede profundizar las conexiones macro, meso, micro.¹

Las nuevas formas de intermediación están centradas en el desarrollo de redes interinstitucionales, con flujos dinámicos de intercambio con actores no académicos y con financiamiento proveniente de varias fuentes, que acrecientan y expanden los vínculos y los aprendizajes en los procesos productivos (laboratorios de los CPI con la industria, oficinas de transferencia de tecnología de los CPI, parques de innovación, redes temáticas nacionales y estatales), aceleran los procesos de colaboración y consolidan los circuitos comerciales, de información de ideas e innovaciones entre los agentes

¹ 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, 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 de un Observatorio de CTI y apoyar a nivel regional las acciones propiciadas por el FCCYT, ADIAT, FUMEC, CONACYT y otras secretarías de Estado especialmente Secretaría de Economía.

independientes. Estos nuevos acuerdos de colaboración exigen un trabajo de concertación entre multiactores para establecer la agenda de investigación, como la traducción de códigos no compartidos entre los diferentes actores, procedentes de contextos con lógicas, incentivos y culturas diversas. Tales cambios rompen con antiguas rutinas disciplinarias y organizativas, ya que actúan en un contexto multidimensional, afectan a los funcionarios del sector público y privado, a los investigadores y a las asociaciones sectoriales.

REFLEXIONES FINALES

A pesar de la fragmentación y la discontinuidad del sistema de innovación, hay en el país sectores productivos con capacidad para apropiarse de las ventajas de internet industrial, sistematizar los datos, aplicar la computación en la nube, la informática móvil y *big data*, ya existen medios para generar dichas tecnologías y muchos están disponibles, aunque en otras aplicaciones. En México como en los países industrializados, la novedad no es sólo una nueva tecnología, sino la combinación de tecnologías existentes en un nuevo sentido, con la habilidad de satisfacer los cambios actuales y futuros. El problema es cómo integrar los vacíos del pasado provenientes de la falta de infraestructura, la baja capacitación y la necesidad de mantener continuidad para que los procesos se absorban y generen aprendizajes en las instituciones e individuos. Esta situación exige que los nuevos programas nacionales y de CTI se articulen para asegurar la complementación y seguimiento de las políticas públicas; la fuerte coordinación de programas e incentivos que traspasen las fronteras sexenales y se continúen en políticas acumulativas, impulsará la transversalidad de los conocimientos como los enfoques multidisciplinarios.

En los diferentes países industrializados analizados en este capítulo se destacan los cambios que impactan a la industria con la extensión de internet industrial que articula el mundo digital con el mundo de las máquinas. El uso de IoT permitió servicios avanzados mediante la interconexión física y virtual. Las principales características de IoT es la integración de tecnologías de identificación y seguimiento. El nuevo proceso se caracteriza por la aplicación de la tecnología de la información en todas las fases del proceso de producción manufacturero moderno, desde el diseño, fabricación, consumo de productos, servicios al cliente están conectados, cada fase del proceso implica conocimiento y conexión, complementado con el uso de manufactura aditiva para personalizar productos.

La generación de valor se desplaza de la industria “tradicionalmente conocida” a los datos y al surgimiento de nuevos ámbitos como analítica de datos, cloud computing y 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 Industria 4.0.

El término más generalizado para explicar esta nueva producción es la 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 denominarse “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 para garantizar a las empresas consultoras un nuevo mercado, propició el abuso de términos sin definiciones explícitas y en muchos casos sin ninguna novedad en las propuestas, más allá de un *software*.

El tránsito hacia la Industria 4.0 en los países analizados fue un proceso conjunto con los protagonistas, involucró al sector público, empresas y clústeres de los sectores productivos, trabajadores, centrales sindicales y directivos, investigadores y organizaciones intermedias que mantuvieron una activa participación en los diagnósticos para la aplicación del modelo, y el seguimiento selectivo de acciones, como son los casos de Alemania, Estados Unidos y la Comunidad del País Vasco.

El eje tecnológico de la Industria 4.0 está basado en el desarrollo de las TIC que abre nuevas soluciones para la manufactura como flexibilidad y eficiencia en los procesos productivos, calidad e interconexión de toda la cadena de valor. La Industria 4.0, surgida en Alemania y extendida a toda la Unión Europea, impulsó este modelo aplicando orientaciones específicas en las políticas industriales y de CTI. El objetivo fue impulsar la industria digitalizada, inicialmente se formaron grupos de estudios en todos los países analizados para resolver y orientar los problemas centrales de ejecución e implementación como: diagnóstico de sectores productivos, creación de estándares y normas para facilitar la integración, impulsar la I&D para generar nuevos escenarios, adecuar el marco legal, construcción de casos exitosos y recomendaciones prácticas, integración de las Pymes en la cadena de valor digitalizada. En la adopción del modelo de manufactura avanzada en Estados Unidos se manifiesta la misma preocupación que en Alemania y la CAPV, por consolidar un espacio público-privado que articule las redes de investigación avanzada entre las empresas, las organizaciones intermedias y los gobiernos para organizar programas, iniciativas para la divulgación del nuevo modelo y la profundización de las interacciones con los grupos de

investigación en la búsqueda de nuevas alternativas de aplicación y formación especializada. La difusión del nuevo modelo en la sociedad, orientado a identificar los beneficios de la manufactura avanzada a través de creación de portales, institutos para la investigación articulados al nuevo paradigma, creación de soluciones globales de interoperabilidad. Esta preocupación por la creación de una estructura institucional de apoyo específica, basada en una gobernanza más colaborativa (institutos, grupos interinstitucionales de estudio sobre la I4.0 y manufactura avanzada), señala el papel central jugado por los gobiernos para estimular y financiar redes nacionales e internacionales para extender el modelo, sostenido por el apoyo decidido de agentes públicos y privados en una causa común de profundizar el conocimiento sobre la industria avanzada, los alcances y consecuencias, que no sólo sostiene el modelo productivo, sino que proporciona una posibilidad de densificación de las redes sociales con posibilidad de decisión y generar nuevos planteos y oportunidad al reflexionar sobre un ámbito altamente especializado, pero que abre una instancia para la producción y la creación de nuevas configuraciones sociales, como consecuencia de la digitalización de la sociedad.

La intensidad de acciones generadas por estas redes nacionales e internacionales de difusión de 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, dado el interés identificado a nivel empresarial y de organizaciones intermedias por incursionar en su desarrollo en el país. La aplicación de esta nueva forma de producción —sin pensarla como solución única, dado que requiere condiciones de infraestructura técnica, formación especializada e integración del proceso para ganar eficacia y rendimiento— sí es ineludible enfrentar esta nueva realidad, diseñar políticas adecuadas para la aplicación, seguimiento y coordinación de programas, y propiciar un diálogo informado sobre los avances, las necesidades técnicas, los impactos sociales, las oportunidades. El cambio sexenal inminente en 2018 abre un espacio para reflexionar sobre políticas públicas de innovación que permitan intervenir a varios niveles (macro, meso, micro) para concientizar sobre la problemática e identificar nuevos caminos en base a datos reales y diagnósticos de tendencias, más que por intuiciones transitorias o soluciones de moda. Una medida se impone, es continuar profundizando la acumulación de experiencias y propuestas (como la política de software, de agrupamientos productivos, de estímulo a la innovación e inserción de Pymes), que a pesar de las fragmentaciones y discontinuidades de aplicaciones generaron un espacio de innovación y articulación de redes nacionales para profundizar la relación sectores productivos-investigación-formación especializada.

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*, 11(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”, en *European Planning Studies*, 18, pp. 47-65.
- Audretsch, D.B. y M. Feldman (1996), “R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production”, en *American Economic Review* 86, pp. 630-640.
- Bonilla, A. (2016), “Conacyt y NSF impulsarán comercialización de innovación tecnológica”, en *Agencia Informativa Conacyt*, disponible en <<http://conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politic>>, 4 de mayo.
- Bothof, A. y E.A. Hartmann, (2014), “Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0”, Springer.
- Bramwells, A. y D. Wolfe (2008), *Universities and Regional Economic Development, the Entrepreneurial University of Waterloo*, Research Policy,
- Brettel, M., M. Klein y N. Friederichsen (2016), “The Relevance of Manufacturing Flexibility in the Context of Industrie 4.0”, en *48th CIRP Conference on Manufacturing Systems - CIRP CMS 2015*, pp. 105-110.
- Breznitz, S. y M. Feldman (2010), “The Engaged University”, en *J. Technol Transf*, disponible en DOI <10.1007/s10961-0109183-6>.
- Brown, R. y P. Ternouth (2006), *International Competitiveness Businesses Working with UK Universities*, London, The Council of Industry and Higher Education.
- Brynjolfsson, E. y A. McAfee (2016), *The Second Machine Age*, Nueva York, W.W. Norton & Company.
- Casalet, M. (2008), “El impacto de la sociedad del conocimiento en las estructuras institucionales y decisionales de los sistemas científicos, el caso de México” Módulo IV, Gobernabilidad de los centros de investigación y mundo del trabajo en G. Valenti, M. Casalet y D. Avaro (coord.), *Instituciones, sociedad del conocimiento y mundo del trabajo*, México, FLACSO/Plaza y Valdés, pp. 327-349.
- Casalet, M. (2010), “Velos y desvelos entre el poder y la ciencia”, en *Revista Innovación RICEC*, núm. 3, abril, Québec, Canadá.
- Casalet, M. (2012), “Vinculación universidades-sectores productivos para la innovación tecnológica”, en José Luis Calva (coord.), *Políticas de educación, ciencia, tecnología y competitividad*, México, Juan Pablos/Consejo Nacional de Universitarios, pp. 288-314.

- Casalet, M. y F. Stezano (2009), “Cambios institucionales para la innovación: nuevos instrumentos de política científica y tecnológica, El caso del consorcio Xignux-CONACYT”, en Daniel Villavicencio C. y Pedro Luis López de Alba (coords.), *Sistemas de innovación en México: regiones, redes y sectores*, México, Plaza y Valdés, pp. 187-215.
- Cohen, W.M., R.R. Nelson y J.P. Walsh (2002), “Links and Impacts, the Influence of Public Research on Industrial R&D”, en *Management Science*, 48(1), pp. 1-23.
- CONACYT (2015), Convocatoria de investigación en *Fronteras de La Ciencia 2015-2*, disponible en <<http://www.conacyt.gob.mx/index.php/sni/convocator>>.
- CONACYT (2017), “Halcón H1, despega el avión con tecnología mexicana”, en *Agencia Informativa Conacyt*, disponible en <<http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/transportes/18843-Presentan-Aeronave-Diseñada-Para-Empresa-Mexicana-Incubada-En-El-Centa>>.
- CONACYT (2017c), *Programa de estímulos a la innovación*, disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-Y-Apoy>>.
- CONACYT (2017d), *Programa de redes temáticas Conacyt*, disponible en <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-Conacyt/de>>.
- Cooke, P., P. Boekholt y F. Tödtling (2000), *The Governance of Innovation in Europe*, London, Pinter.
- D’Este P. y S. Lammarino (2010), “The Spatial Profile of University-Business Research Partnerships”, en *Papers in Regional Science*, 89(2), pp. 335-350.
- D’Este, P. y M. Perkman (2010), *Why Do Academics Engage with Industries? The Entrepreneurial University and Individual Motivations*, J-. Technol Transf DOI <.10.1007/s10961-010-9153>.
- Deloitte (2017), *Manufacturing USA. A Third-Party Evaluation of Program Design and Progress*, disponible en <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-manufacturing-USA-program-and-process.pdf>.
- Drath, R. y A. Horch (2014), “Industria 4.0, Hit or Hype?”, en *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), pp. 56-58.
- Dutrénit, G., V. Arza, J. Orozo, K. Ruiz, A.C. Fernandes, B. de Souza, A. da Silva, W. Suzigan, C.V. Chaves, C. de Fuentes, A. Torres y E. Albuquerque (2010), *Science and Policy*, vol. 37, núm. 7.
- Etzkowitz, H. (2003), “Research Groups as Quasi-Firms, the Invention of the Entrepreneurial University”, en *Research Policy*, 32(1), pp. 109-121.
- Feldman, M.P. (1999), “The New Economics of Innovation, Spillovers and Agglomeration, a Review of Empirical Studies”, en *Economics of Innovation & New Technology*, 8(1), pp. 5-25
- Feller, I. (1990) “Universities as Engines of R&D-Based Growth, They Think They”, en *Research Policy*, 19(4), pp. 335-348.

- Ford, M. (2015), *The Rise of Robots*, Basic Books, Nueva York.
- Franzoni, C. y F. Lissoni (2009), “Academic Entrepreneur, Critical Issues and Lesson for Europe”, en A. Varga, *Universities, Knowledge Transfer and Regional Development, Geography, Entrepreneurship and Policy*, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA, Edward Elgar, pp. 163-190.
- Frey, C. B. y M.A. Osborne (2015), *Technology at Work: the Future of Innovation and Employment*, Oxford Martin School, disponible en <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/reports/Citi_GPS_Technology_Work.pdf>.
- Gobierno Vasco, (2017), *Plan de Industrialización 2017-2020, “Basque Industry 4.0”*, disponible en <https://www.irekia.euskadi.eus/uploads/attachments/10018/Plan_de_Industrializacion.pdf?1500453186>, consultado el 4 de octubre de 2017.
- Grimpe, C. y K. Hussinger (2008), “Formal and Informal Technology Transfer from Academia to Industry, Complementarity Effects and Innovation Performance”, en *ZEW Discussion Paper* No. 08-080, Mannheim.
- Guoping, L., H. Yun y W. Aizhi (2017), “Fourth Industrial Revolution, Technological Drivers, Impacts and Coping Methods”, en *Chinese Geographical Science*, 27(4), pp. 626-637.
- Hey, T., S. Tansley y K. Tolle (eds) (2009), *The Fourth Paradigm, Data-Intensive Scientific Discovery*, Redmond, Microsoft Research.
- 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*, Cham, Springer.
- IG Metal (2013), “Industrie 4.0. Herausforderungen für Mitbestimmung und gewerkschaftliche Interessenvertretung” en *Documento de trabajo IG Metal*, disponible en <http://www.cms.igmetall-kueste.de/files/1D_a225574352.pdf>, consultado el 2 de octubre de 2017.
- Jaffe, A. B., M. Trajtenberg y R. Henderson (1993), “Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citation”, en *The Quarterly Journal of Economic*, 108(3), pp. 577-598.
- Kagermann, H., W. Wahlster y J. Helbig (2013), *Implementation Recommendations for the Future Project Industry 4.0 - Final Report of the Working Group Industry 4.0*, Frankfurt, Main.
- Kenney, M. y R.W. Goe (2004), *The Role of Social Embeddedness in Professional Entrepreneurship. A Comparison of Electrical Engineering and Computer Science at UC Berkeley and Stanford* - Research Policy 33, pp. 691-707.
- Lambert, R. (2003), *Lambert Review of Business–University Collaboration, Final Report*, disponible en <www.lambertreview.org.uk>.

- Link, A.N., D.S. Siegel y B. Bozeman (2007), *An Empirical Analysis of the Propensity of Academics to Engage in Informal University Technology Transfers, Industrial and Corporate Change*, 16(4), pp. 641-655.
- Lu, Y., K.C. Morris y S. Frechette (2016), "Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems", en *National Institute of Standards and Technology NIST*, disponible en <<http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2016/NIST.IR.8107.pdf>>.
- Maier, M.A., J.J. Korbel y A. Brem (2015), "Innovation in Supply Chains-Solving the Agency Dilemma in Supply Networks by Using Industry 4.0 Technologies", en *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, 15(2), pp. 1754-1780.
- Mansfield, E. (1991), "Academic Research and Industrial Innovation", en *Research Policy* 20, pp. 1-12
- Manufacturing USA (2017), "Manufacturing USA", disponible en <<https://www.manufacturingusa.com/>>.
- McKinsey Global Institute (2012), "Manufacturing the Future, The Next Era of Global Growth and Innovation", disponible en <<http://www.oecd.org/dev/Manufacturing-the-future-the-next-era-of-global-growth-and-innovation.pdf>>.
- McKinsey Global Institute (2017), *A Future that Works, Automation, Employment, and Productivity*, disponible en <<http://www.voced.edu.au/content/ngv:75268>>.
- Minshall, T.H.W., C. Druille *et al.* (2004), "The Evolution of 'Third Mission' Activities at the University of Cambridge, Balancing Strategic and Operational Considerations", en *12th High Tech Small Firms Conference, University of Twente*, The Netherlands.
- Molas-Gallart, J., A. Salter, P. Patel, A. Scott y X. Duran (2002), *Measuring Third Stream Activities*, SPRU, University of Sussex.
- Mowery, D.C y A. Ziedonis (1999), *The Effects of the Bayh-Dole Act on U.S. University Research and Technology Transfer, Analyzing Data from Entrants and Incumbents Paper presented at the Science and Technology*, Group NBER Summer Institute, Cambridge, National Bureau of Economic Research.
- Mowery, D.C y A. Ziedonis (eds.) (2004), *Ivory Tower and Industrial Innovation, University-Industry Technology before and after the Bay Doyle Act*, Stanford, Stanford University Press.
- Mowery, D.C y A. Ziedonis (2007), "Academic Patents and Materials Transfer Agreements: Substitutes or Complements?", en *J. Techno Transfer*, 32, pp. 157-172.
- Navarro, M. y X. Sabalza (2016), "Reflexiones sobre la Industria 4.0 desde el caso vasco", en *Ekonomia*, 89(1), pp. 143-173.
- Nelson, R.R. (1993), *National Innovations Systems. A Comparative Analysis*, New York, Oxford, University Press.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2003), *Governance of Public Research, Toward Better Practices*, pp. 164 ISBN, 9789264103740 OECD, Code, 922003051P1.
- Orkestra (2007), *Informe de competitividad del país vasco, hacia una propuesta única de valor*, Donostia-San Sebastián, Orkestra/Instituto Vasco de Competitividad.
- Orkestra (2009), *II Informe de competitividad del país vasco*, Donostia-San Sebastián, Orkestra/Instituto Vasco de Competitividad.
- Orkestra (2011), *III Informe de competitividad del país vasco, liderar en la nueva complejidad*, Donostia-San Sebastián, Orkestra/Instituto Vasco de Competitividad.
- Orkestra (2013), *Informe de competitividad del país vasco 2013, transformación productiva para el mañana*, 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.
- O'Shea, R.P., T.J. Allen, C. O'Gorman y F Roche (2004), "Universities and Technology Transfer, A Review of Academic Entrepreneurship Literature", en *Irish Journal of Management*, 25(2), pp. 11-29.
- PCAST (2011), "Report on the Intersection of the Nation's Ecosystems and the Economy", en *The White House*, disponible en <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_sustaining_environmental_capital_report.pdf>.
- Platform Industrie 4.0. (2015), *Platform Industrie 4.0*, disponible en <<http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>>, consultado el 18 de septiembre de 2017.
- Ponds, R., F van Oort y K. Frenken (2007), "The Geographical and Institutional Proximity of Research Collaboration", en *Regional Science*, vol. 86, núm. 3.
- Rosenberg, N. y R.R. Nelson (1994), "American Universities and Technical Advance in Industry", en *Research Policy* 23(3), pp. 323-348
- Schartinger, D., C. Rammer, M.M. Fischer y J. Fröhlich (2002), "Knowledge Interactions between Universities and Industry in Austria, Sectoral Patterns and Determinants", en *Research Policy*, 31, pp. 303-328.
- Schoen, A. et al. (2006), *Strategic Management of University Research Activities, Methodological Guide, Prime Project Observatory of European University*, disponible en <www.enid-europe.org>.
- Schwab, K. (2015), *The Fourth Industrial Revolution*, Nueva York, World Economic Forum.

- Shane, S. (2005), *Economic Development Through Entrepreneurship, Government, University and Business Linkages*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Stezano, F. (2017), "The Role of Technology Center as Intermediary Organizations Facilitating Links for Innovation, Four Cases of Deferal Technology Centers in Mexico", en *Review of Policy Research*.
- Stiglitz, J. y S. Wallsten (1999), "Public-Private Technology Partnerships, Promises and Pitfalls", en *American Behavioural Scientist*, 43-73(1), pp. 52-73.
- Strawn, G.O. y W.S. Bainbridge (2016), "Information Technology Supported Convergence", en W.S. Bainbridge y M.C. Roco (eds.), *Handbook of Science and Technology Convergence*, Switzerland, Springer International Publishing pp. 279-291.
- 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.
- Thursby, J.G.A., R.A. Jensen y M.C.A. Thursby (2001), "Objectives, Characteristics and Outcomes of Universities Licensing. A Survey of Major US Universities", en *Journal of Technology Transfer*, 26(1), pp. 59-72.
- Urry, J. (2016), *What is the future?*, UK, Polity Press.
- Webster, A. y V. Swain (1991), "The Pharmaceutical Industry, Towards a New Innovation Environment", en *Technology Analysis & Strategic Management*, 3(2), pp. 127-142.
- Williams, J. (2014), *Harvard Business Review Internet of Things, Science Fiction or Business*, Nueva York, Verizon.
- Yusuf, Sh. y K. Nabeshima (eds.) (2007), "How Universities Promote Economic Growth", *World Bank*.
- Zucker, L., M.R. Darby y M.B. Brewer (1998), "Intellectual Human Capital and the Birth of US Biotechnology Enterprises", en *The American Economic Review*, 88(1), pp. 290-306.