

DESARROLLO PRODUCTIVO

El estado de la manufactura avanzada

Competencia entre las plataformas
de la Internet industrial

Mario Castillo



cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

DESARROLLO PRODUCTIVO

El estado de la manufactura avanzada

Competencia entre las plataformas
de la Internet industrial

Mario Castillo



NACIONES UNIDAS



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento ha sido elaborado por Mario Castillo, Jefe de la Unidad de Innovación y Nuevas Tecnologías de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco del proyecto de la CEPAL, el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), denominado “Industrialización inclusiva y sostenible en América Latina”.

Los datos presentados en la sección en que se sintetizan los resultados de la investigación sobre el proceso de convergencia de la manufactura y los servicios fueron elaborados por Daniel Díaz, Consultor de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL, sobre la base de datos de Bloomberg.

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

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN 1680-8754 (versión electrónica)

ISSN 1020-5179 (versión impresa)

LC/TS.2017/123

Distribución: Limitada

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2017. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.17-01069

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

Índice

Resumen	5
Introducción	7
I. El contexto de la manufactura avanzada	11
A. La manufactura vuelve a ser estratégica, pero digital	11
B. Los impactos de la manufactura avanzada	14
C. El debate sobre empleo y automatización	16
D. El modelo de Internet industrial	17
II. El ecosistema de la manufactura avanzada	21
A. El sector de manufactura avanzada	21
B. El sector de servicios avanzados	24
C. Las bases tecnológicas de la Internet industrial	26
D. El proceso de convergencia de la manufactura y los servicios	28
III. Estrategias y plataformas	33
A. Gobernanza y estrategias.....	33
B. La cadena de valor de la internet industrial.....	35
C. Las plataformas de la manufactura avanzada.....	37
D. Las estrategias de política de países líderes	37
IV. Conclusiones e implicancias de políticas	41
Bibliografía	43
Anexo Medición de convergencia a partir de la teoría de grafos.....	45
Serie Desarrollo Productivo: números publicados.....	48

Cuadros

Cuadro 1	Principales sectores de manufactura avanzada	8
Cuadro 2	Principales sectores de servicios avanzados	9
Cuadro 3	Objetos conectados y gastos de Internet industrial	15
Cuadro 4	Los principales sectores de manufactura avanzada	22
Cuadro 5	Principales empresas de manufactura avanzada	22
Cuadro 6	Principales sectores de servicios avanzados	25
Cuadro 7	Principales empresas de servicios avanzados	25
Cuadro 8	Los tres pilares de la Internet industrial	27
Cuadro 9	Evolución de las tecnologías de automatización	27
Cuadro 10	Evolución de la fábrica digital	28
Cuadro 11	Principales consorcios de Internet industrial	34
Cuadro 12	Principales iniciativas de Internet industrial	38
Cuadro A.1	Parámetros de descripción de los grafos	47

Gráficos

Gráfico 1	Participación en el valor agregado manufacturero mundial	12
Gráfico 2	Aplicación de patentes internacionales	13
Gráfico 3	Evolución de empresas y acuerdos de M&A	30
Gráfico 4	Convergencia del ecosistema de manufactura avanzada	30

Diagramas

Diagrama 1	Principales <i>cluster</i> y países exportadores de nueva manufactura hacia el 2020	14
Diagrama 2	Modelo de Internet industrial	18
Diagrama 3	Aumento convergencia del ecosistema de manufactura avanzada	31
Diagrama 4	Convergencia acelerada del ecosistema de manufactura avanzada	31
Diagrama 5	Cadena de valor de la Internet industrial	36
Diagrama A.1	Representación de un grafo cociente	46

Resumen

Este documento se presenta una descripción de la situación de la manufactura avanzada, se propone un modelo de análisis de la Internet Industrial y se evalúan tres hipótesis en torno al ecosistema de la manufactura avanzada: la primera, la hiper convergencia entre la manufactura y los servicios; la segunda, la mayor fragmentación de la cadena de valor de la Internet Industrial; y la tercera, la competencia de las nuevas plataformas de Internet Industrial.

Además, se analiza las implicancias económicas y de políticas del proceso de manufactura avanzada destacando tres ideas principales: primero, la necesidad de una política industrial digital para promover el nuevo ciclo de innovación de Internet Industrial; segundo, la importancia de promover un proceso de inversión pública y privado en infraestructura, plataformas y capacidades tecnológicas digitales, y tercero, la necesidad de contar con las capacidades institucionales para que el sector público lidere y gestione —en alianza con el sector privado— las iniciativas de transformación para la manufactura avanzada.

Introducción

Este documento aborda el desarrollo de la manufactura avanzada a nivel internacional, caracterizando el despliegue de los sectores de alta tecnología e identificando los obstáculos para su adopción en el resto de la industria. La manufactura avanzada se define como aquellas actividades manufactureras donde están las empresas que lideran la producción y el uso de las tecnologías digitales para controlar el mundo físico, mediante la sincronización de equipos, procesos y personas. La manufactura avanzada instala un nuevo modelo de fábrica, genera empleos de alta productividad, promueve la innovación, aporta a la reducción de los déficits comerciales y contribuye al crecimiento sustentable (Muro and others, 2015). Asociada a la manufactura avanzada están los servicios avanzados, que se definen como las actividades de software y telecomunicaciones donde están las empresas líderes que interactúan con los sectores de manufactura avanzada, en particular con las actividades de automatización industrial.

Los principales analistas de la industria como McKinsey, Gartner e IDC han destacado la importancia de la Internet Industrial¹ y la manufactura avanzada, gestionada por algoritmos, dispositivos inteligentes y robots. Todos los pronósticos destacan los cambios radicales en el ecosistema digital, de acuerdo como van convergiendo las diversas tecnologías digitales y de operación industrial y donde las personas, los procesos y las máquinas están estableciendo nuevas relaciones de comunicación y coordinación (Manyika and others, 2012).

La manufactura avanzada se explica por la co-evolución y confluencia entre las tecnologías de operación (TO), asociadas a la automatización de procesos industriales, y las nuevas plataformas de las tecnologías de información, tales como la Internet de las cosas, las redes de nueva generación, la computación en la nube, la analítica de grandes datos y los sistemas de inteligencia artificial² (Industrial Internet Consortium, 2016).

¹ El avance y la reducción de costos de los microprocesadores, las redes Wifi, la tecnología RFID, la banda ancha y los sensores abren nuevas posibilidades para que cada máquina, proceso y producto estén conectados a Internet, en la denominada Internet of Things (IoT) o Internet industrial. Esta tecnología es útil para todo tipo de actividades, tanto en industrias verticales —manufactura y otras industrias— como en la gestión de ecosistemas complejos —ciudades y medioambiente—.

² Por ejemplo, actualmente es posible almacenar y procesar enormes volúmenes de información sobre sistemas ciber físicos, como por ejemplo temperatura, presión, vibración, movimiento y flujos de corriente, y de esta forma monitorear y prevenir fallas, controlar los procesos de producción, optimizar las operaciones de manufactura e incluso generar procesos de operación autónomos.

Los modelos de fabricación evolucionan, desde procesos de automatización especializada a nivel de fábrica y una robotización aislada y estandarizada, hacia otra con procesos más complejos y autónomos, que abarcan toda la cadena de valor de los productos, con una robotización conectada y colaborativa y con nuevos protocolos de interacción entre personas y máquinas, y entre máquinas y máquinas (ABB, 2016).

Los países líderes están abordando estos cambios desde una perspectiva geopolítica, apoyando a los principales conglomerados industriales en el desarrollo de las nuevas plataformas tecnológicas para la competitividad industrial. Ejemplo de ello, son las alianzas publico-privadas y, en algunos casos, políticas industriales para la infraestructura, desarrollo de capacidades, banco de pruebas y generación de estándares (European Parliament, 2016).

El impulso de la manufactura avanzada se produce en el año 2016. Encuestas realizadas ese año muestran que las empresas comienzan a tomar decisiones de inversión en este campo. Entre los años 2013 y 2015, alrededor del 75% de las empresas estaban explorando el uso de internet Industrial³, pero solo el 15% de ellas había implementado medidas concretas⁴. Sin embargo, a partir del año 2016, más del 30% de las empresas decidieron invertir en esas tecnologías en los próximos dos años (KPMG, 2016).

Sin embargo, las proyecciones sobre la adaptación de estas tecnologías deben tomarse con precaución (véase capítulo I punto B). Entre los principales obstáculos para la difusión destacan la incertidumbre en la evolución de estas tecnologías, el acceso exclusivo a grandes empresas con procesos de producción estandarizados, la dificultad para acordar estándares para la interoperabilidad, el déficit de capacidades críticas (por ejemplo analítica de grandes datos) y de recursos humanos calificados.

Se identifican diez macro sectores de manufactura avanzada, tomando como referencia aquellos sectores industriales de los Estados Unidos con mayor innovación tecnológica y especialización de recursos humanos. En el cuadro 1 se presentan los sectores de manufactura avanzada que poseen el mayor gasto en investigación y desarrollo por trabajador y la mayor proporción de empleados con formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (véase capítulo II punto A).

Cuadro 1
Principales sectores de manufactura avanzada

Macro sectores
Industria automotriz
Autopartes y equipo automotriz
Aeronáutica
Equipos y componentes eléctricos
Industria electrónica
Maquinas y herramientas
Maquinaria para construcción y minería
Maquinaria, automatización y robótica
Equipo de hardware
Industria de semiconductores

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de Brookings Institution, Comisión Europea y base de datos de Bloomberg.

También se identifican seis macro sectores de servicios avanzados, tomando como referencia aquellos sectores de servicios de software y telecomunicaciones de los Estados Unidos con mayor innovación tecnológica y especialización de recursos humanos. En el cuadro 2 se presentan los sectores de servicios avanzados que poseen el mayor gasto en investigación y desarrollo por trabajador y la mayor proporción de empleados con formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (véase capítulo II punto B).

³ Encuesta realizada por el The Economist Intelligence Unit entre 779 ejecutivos en empresas de todo el mundo.

⁴ Sobre la base de 433 encuestas a ejecutivos de empresas en China, Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Francia.

Cuadro 2
Principales sectores de servicios avanzados

Macro sectores
Software de aplicaciones
Procesamiento de datos
Software computacional
Software gráfico y realidad virtual
Telecomunicaciones móviles
Servicios de telecomunicaciones

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de Brookings Institution, Comisión Europea y base de datos de Bloomberg.

En este trabajo se evalúan tres hipótesis en torno al ecosistema de la industria avanzada: la primera, la hiper convergencia entre la manufactura y los servicios avanzados; la segunda, la fragmentación de la cadena de valor de la Internet Industrial; y la tercera, la creciente competencia de las nuevas plataformas de Internet Industrial.

El documento está dividido en cinco capítulos, que comienza con esta introducción. El segundo capítulo, aborda el contexto de la manufactura avanzada, identificando un modelo analítico, su importancia económica y el debate sobre automatización y desempleo. El tercer capítulo, analiza el ecosistema de la manufactura avanzada, definiendo los sectores industriales, identificando su base tecnológica y el proceso de convergencia.

El cuarto capítulo examina las estrategias corporativas de las empresas, destacándola el proceso de gobernanza, la cadena de valor, las nuevas plataformas y las estrategias de políticas de países líderes. Finalmente, el quinto capítulo es de conclusiones e implicancias de política.

I. El contexto de la manufactura avanzada

La competencia global en la industria manufacturera se ha intensificado como consecuencia de tres tendencias principales: en primer lugar, un ciclo de inversión y comercio internacional de bajo dinamismo; en segundo lugar, el freno a la expansión de las cadenas de valor por el efecto de China (mayor costo) y el reshoring hacia economías avanzadas (efecto automatización) y; en tercer lugar, los avances tecnológicos asociados a la digitalización de la producción, el desarrollo de los servicios en la nube, automatización, robótica y la inteligencia artificial. De particular importancia son los efectos sobre el mercado laboral de esta acelerada convergencia (OECD, 2017).

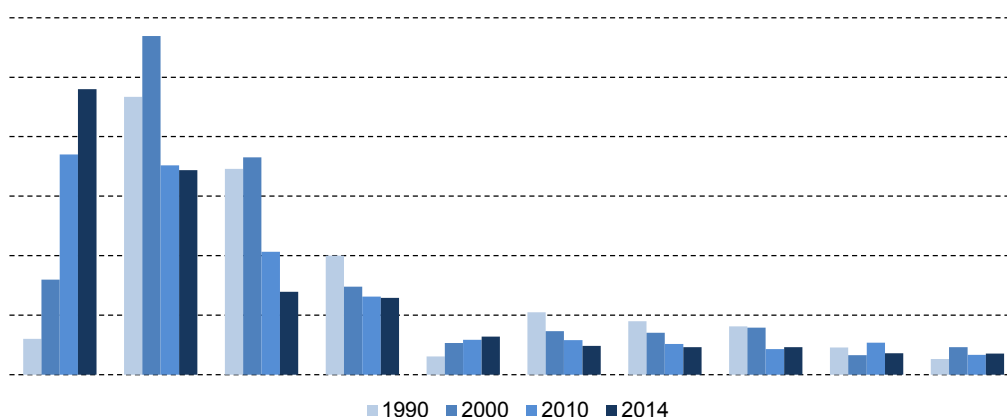
A. La manufactura vuelve a ser estratégica, pero digital

Están de vuelta las posturas que sostienen, tal como Cohen y Zysman (1987) argumentaron en su clásico libro en la década de los 80, que la manufactura importa (*manufacturing matters*) para la economía de Estados Unidos y el resto de las economías desarrolladas. La manufactura vuelve a ser estratégica por su aporte a la generación de empleos de mayor nivel de salarios, ser fuente de innovación tecnológica y esencial para la innovación del sector servicios, contribuir a reducir el déficit fiscal y a la sustentabilidad ambiental (Helper and others, 2012).

La crisis financiera del año 2008, junto con el debilitamiento del sector industrial en los países avanzados, fue un punto de inflexión que quebró la continuidad de un modelo global y desregulado de crecimiento, iniciado en la década de los ochenta. En particular, el proceso de desindustrialización de los países avanzados⁵ (véase el gráfico 1), el sesgo de incertidumbre de sus economías y la desigualdad de ingresos entre la población, entre otros factores, ha generado un descontento y demanda social de reindustrialización. En la actualidad, hay una demanda por políticas proteccionistas y, desde los gobiernos, por establecer mecanismos de recuperación de capacidades productivas, tecnológicas y de empleo y de modalidades más defensivas de integración en bloques económicos (Foreign Affairs, 2016).

⁵ La acelerada desindustrialización experimentada por las economías avanzadas a partir de la década de 2000 fue consecuencia del enorme desplazamiento de la producción industrial hacia China que, a partir del año 2010, se consolidó como el principal centro mundial de producción manufacturera. En el periodo 2000-2014, el gigante asiático multiplicó por ocho su participación en la producción mundial de manufactura, en detrimento de Estados Unidos, Japón, Italia, Francia y Reino Unido.

Gráfico 1
Participación en el valor agregado manufacturero mundial
 (Porcentaje)



Fuente: <http://unstats.un.org/unsd/snaama/resQuery.asp>.

El *offshoring* industrial iniciado de la mano con la globalización económica en la década de los 90s, ha generado descontento social entre los trabajadores que han perdido sus fuentes de empleo en zonas geográficas de larga tradición industrial de Estados Unidos y Europa. Una de las consecuencias ha sido el auge de las políticas nacionalistas y la exigencia de medidas de política proteccionista, incluyendo el uso de aranceles e impuestos para proteger la industria local (The White House, 2012; The Economist, 2016a). Aún más, se ha planteado que la reciente inestabilidad política de algunos países desarrollados puede estar asociada a la declinación de la participación del empleo manufacturero en dichas economías en las últimas décadas (Brady, 2016).

A partir de 2010, y como reacción al desplazamiento de la producción industrial hacia países del sudeste asiático y China, ha surgido una nueva generación de políticas de reindustrialización y mega acuerdos comerciales⁶. Se han fortalecido las estrategias en los ámbitos de la política industrial, los recursos humanos, la innovación y la economía digital, configurándose las denominadas tres fábricas mundiales: Norteamérica, Europa y Asia. Estas comienzan a operar bajo las normas de mega bloques económicos, dejando atrás el modelo de multilateralismo en el comercio internacional⁷. Hay evidencia que el proceso de *offshoring* se ha enlentecido o revertido como consecuencia de un conjunto de factores, tales como el aumento de los costos salariales en China, fuga de propiedad intelectual, necesidad de crear centros de innovación y producir cerca de clientes (Helper and others, 2012).

La política industrial de Estados Unidos adquiere relevancia, no solo con el objetivo de crear empleo y recuperar la inversión en la industria manufacturera, sino también como una aspiración geopolítica de recuperar el liderazgo frente a China en la manufacturera y los servicios avanzados. En este conflicto de hegemonía con China, no solo rompe el modelo de acuerdos comerciales, sino que también se tensiona la carrera por alcanzar el liderazgo productivo y tecnológico (Kissinger, 2016). Con la reciente revitalización de la institucionalidad proteccionista y el cuestionamiento a los acuerdos de

⁶ Entre las negociaciones comerciales destacan el Acuerdo de Asociación Transpacífico (TPP), la Asociación Transatlántica de Comercio e Inversión (TTIP) entre Estados Unidos y la Unión Europea, y la Asociación Económica Integral Regional (RCEP), de las principales economías asiáticas. Sin embargo, frente a los procesos electorales de Estados Unidos, Alemania y Francia se ha mermado el apoyo político a estos acuerdos

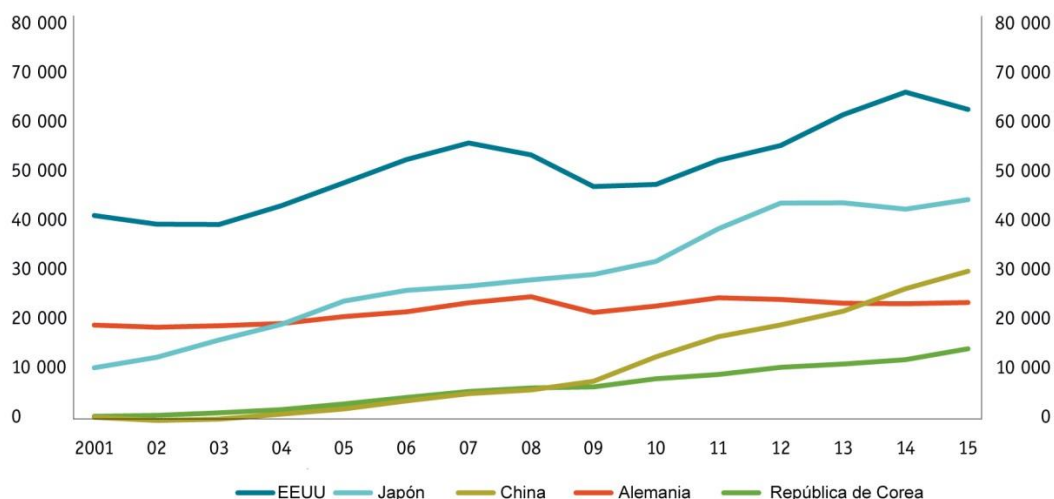
⁷ Un aspecto de importante para Estados Unidos y la Unión Europea es el hecho de que a fines de 2016 expira el reconocimiento, de acuerdo a las normas de la Organización Mundial del Comercio, de China como una non-market economy y, por lo tanto, se abre la posibilidad de establecer aranceles antidumping a sus exportaciones y establecer estrategias para recuperar la competitividad industrial y favorecer a los trabajadores fabriles. (Rodrik, 2016 y DiMiccio, 2015).

libre comercio, hacen creíble la amenaza de este nuevo escenario y la revisión del TLCAN con México, es la primera instancia de negociación política.

La competencia por alcanzar el liderazgo en las nuevas industrias tecnológicas no es nueva en la historia económica reciente. Así como en las décadas de 1950 y 1960 la competencia fue por la industria del acero, máquinas y herramientas, en la de 1970 por la industria de semiconductores, electrónica y hardware y en la de 1990 por Internet, ahora será por la manufactura basada en plataformas digitales, robots e inteligencia artificial. Sin embargo, la estrategia de relocalización de manufactura (*reshoring*) esta tensionando dos tipos diferentes de capitalismo que deben convivir y converger el de la manufactura pesada por un lado y los servicios digitales por otro. El resultado es una estrategia híbrida, como consecuencia de nuevos tipos de alianzas, que considera tanto los intereses de la manufactura tradicional como de las empresas de plataformas digitales. En este contexto, se espera que se generen nuevos espacios de negociación bilateral para acordar las nuevas normas y estándares tecnológicos.

Uno de los factores explicativos del capital tecnológico y la competitividad internacional corresponde a la evolución de la aplicación de patentes internacionales. De acuerdo a la World Intellectual Property Organisation (WIPO), la aplicación de patentes era liderado por Estados Unidos, Japón, China y Alemania. El número de patentes chinas presentadas en el exterior no solo está aumentando de manera pronunciada, sino que también se ha concentrado en tecnologías de información y comunicaciones de alta gama. La lista de solicitantes está dominada por empresas de TI como Huawei, ZTE, BOE y Tencent (The Economist Intelligence Unit, 2017).

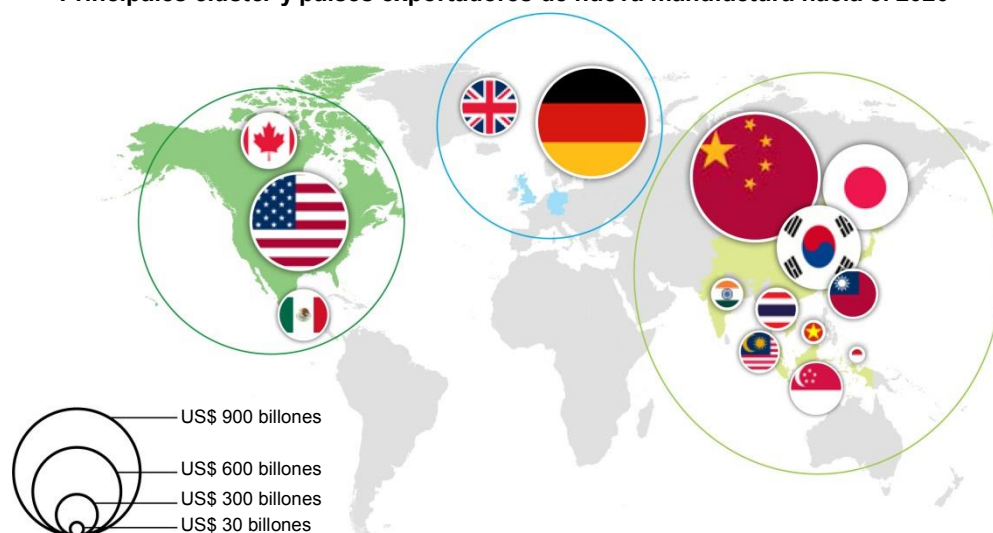
Gráfico 2
Aplicación de patentes internacionales



Fuente: World Intellectual Property Organisation, The Economist Intelligence Unit.

Para el año 2020 se proyectan tres fábricas mundiales de manufactura avanzada –Norteamérica, Asia y Europa- lideradas por Estados Unidos, China y Alemania. De acuerdo al Índice Global de Competitividad de Manufactura de Deloitte, en los años 2010, 2013 y 2016 China era el país más competitivo en manufactura, mientras que Estados Unidos estaba mejorando su índice de competitividad avanzando de la cuarta posición el 2010, a la tercera el 2013 y la segunda el 2016. Para el año 2020 se proyecta que Estados Unidos asuma el liderazgo en competitividad, seguido por China, en la segunda posición, y Alemania, en la tercera (Deloitte, 2016a). Estos cambios en la competitividad manufacturera entre países, está configurando tres cluster dominantes que competirán por la supremacía de la manufactura avanzada y donde el arbitraje de costos empieza a sustituirse por arbitraje de automatización digital dado por el despliegue de la Internet Industrial.

Diagrama 1
Principales *cluster* y países exportadores de nueva manufactura hacia el 2020



Fuente: Deloitte Touche Tohmatsu Limited.

B. Los impactos de la manufactura avanzada

Las estimaciones del valor de mercado de la manufactura avanzada y su impacto económico son todavía inciertas, por lo que es necesario tomar estas cifras con precaución. Proyecciones conservadoras de los objetos conectados y del mercado de la Internet Industrial, hacia el año 2020, se sitúan en torno a los 20 billones de unidades y 3 billones de dólares respectivamente.

Por ejemplo, las predicciones respecto de la cantidad de dispositivos que habrá conectados para 2020 es disímil, pero todas las estimaciones apuntan a números altos: Gartner calculó 20 mil millones; IDC, 30 mil millones; Cisco estableció la cifra en 50 mil millones, y Morgan Stanley lo proyectó en 75 mil millones (Evans, 2011). Las regiones más importantes para la Internet industrial, medida por la generación de ingresos, son Asia Pacífico, que captura más del 50%, Norteamérica con 26% y Europa Occidental con más de 15% (IDC, 2014).

En 2016 se estimaba que alrededor de 6,4 mil millones de objetos (*things*⁸) estaban conectados (Gartner, 2015), 30% más que el año 2015⁹. Las áreas que más dispositivos conectados presentan son la automotriz, los hogares inteligentes (*smart home*), los dispositivos para salud (*fitness devices*) y el consumo. Sin embargo, las aplicaciones industriales —manufactura avanzada— son las que registran los gastos más elevados en esta tecnología. En el año en 2016, los gastos estimados en las aplicaciones de consumo alcanzarán los 546 mil millones de dólares, mientras que en la industria, —*cross-industry* y *vertical-specific*— alcanzarán los 868 mil millones de dólares (véase el cuadro 3).

La inversión en este ámbito ha mantenido su dinamismo, incluso en la fase de ralentización de la economía internacional. En 2015 los niveles de inversión aumentaron respecto del año anterior y alcanzaron 1.500 mil millones de dólares en infraestructura de telecomunicaciones, 700 mil millones en Internet de las cosas y 100 mil millones en *data centers* (Huawei, 2015)¹⁰. Ese mismo año, según Gartner e IFR, los envíos de impresoras 3D alcanzaron 200 mil unidades, doblando a los pedidos del año anterior, mientras que las ventas de robots superaron las 180 mil unidades, con un crecimiento superior a

⁸ El término *Things* se refiere a cualquier objeto físico que cuenta con un dispositivo con su propia dirección IP y que puede conectarse, enviar y recibir información a través de la red.

⁹ McKinsey (2015) estima que existen más de 9 mil millones de dispositivos conectados, considerando en esta estimación a los computadores y los teléfonos inteligentes.

¹⁰ Esto significa un crecimiento anual de 1,3% en infraestructura de telecomunicaciones, 14,3% en Internet de las cosas y 1,9% en data centers.

10%. Las principales industrias demandantes fueron las siguientes: automotriz, semiconductores, electrónica y agrícola.

Cuadro 3
Objetos conectados y gastos de Internet industrial

	Objetos conectados (millones de unidades)		Gastos en Internet industrial (miles de millones de dólares)	
	2016	2020	2016	2020
Consumo	4 024	13 509	546	1 534
Cross-industry	1 092	4 408	201	566
Vertical-specific	1 276	2 880	667	911
Total	6 392	20 797	1 414	3 010

Fuente: elaboración propia con base en Gartner (2015).

La consultora McKinsey ha estimado que el impacto potencial anual de la Internet industrial hacia 2025 será, a lo menos, de cuatro billones de dólares, destacando las aplicaciones en la manufacturera avanzada (1,2 billones de dólares), la gestión de ciudades (900 mil millones de dólares), el transporte y la logística (500 mil millones de dólares), el retail (400 mil millones de dólares) y la industria basada en recursos naturales (200 mil millones de dólares). La mayor parte del valor económico de estas aplicaciones se localizará en países avanzados —62% del valor—, sin embargo, existen áreas de aplicación de mayor potencial en economías en desarrollo, como la industria de recursos naturales, el transporte y la logística, y la industria manufacturera (McKinsey, 2015).

Los antecedentes a nivel de empresas, sin embargo, muestran que las aplicaciones de manufactura avanzada tienen un alcance todavía limitado y debilidades en su implementación, en particular en recursos humanos. Una encuesta realizada por Strategic Analytics para nueve industriales verticales en Estados Unidos, Reino Unido, Francia, y Alemania en 2017, mostró que el 35% de las empresas cuenta con menos de 100 dispositivos conectados en sus aplicaciones, mientras que, en el caso de Estados Unidos, sobre el 70% de los desarrollos involucra a menos de 500 dispositivos. Además, el 66% de las empresas gastan menos de US\$ 100 mil en los proyectos (Strategy Analytics, 2017).

De una encuesta a 500 empresas internacionales, se constató deficiencias de los recursos humanos a nivel corporativo y técnico: el 76% de los encuestados reportaron déficit de personal corporativo con las habilidades tecnológicas; igualmente, el 72% de los encuestados detectaron falta de personal gerencial con experiencia en despliegues tecnológicos; y el 80% carecían de habilidades en el desarrollo de soluciones. Las áreas críticas de expertis son las de seguridad y analítica de grandes datos.

Para lograr mayor impacto se requiere el mejoramiento de las redes de comunicación y de nuevas inversiones en las plataformas y las aplicaciones verticales. Las áreas técnicas en las que se requiere avanzar son el despliegue del IPv6, la sustentabilidad de los sensores, los acuerdos en los estándares de interconexión y la seguridad de estas aplicaciones. En particular, la interoperabilidad es un factor crítico, donde la alternativa más plausible es la adopción de estándares abiertos y la existencia de plataformas que permitan a los sistemas de *IoT* comunicarse entre ellos. Según McKinsey, la ausencia de sistemas de interoperabilidad reduciría en al menos 40% el potencial beneficio de estas aplicaciones.

Es condición necesaria que se mantengan la disminución de los costos de producción de hardware y de los servicios de comunicación, almacenamiento y de procesamiento de datos, es decir reducciones de entre 5% y 15% anual dependiendo de la tecnología o servicio. Entre los componentes de *hardware* destacan los sensores de bajo consumo, los sensores micro electromecánicos, los identificadores de radio frecuencia y las baterías de bajo costo. En el caso de servicios, son críticos el *software* analítico y de visualización, los enlaces de comunicaciones de datos de bajo costo, los servicios de procesamiento de información y almacenamiento.

Existen diversas estimaciones del impacto microeconómico de estas tecnologías en empresas. El Boston Consulting Group (2015), para el caso de Alemania, estimó incrementos de entre el 5 a 8% de productividad y la creación de hasta 390.000 empleos en los próximos 10 años, producto de las mejoras en la flexibilidad, velocidad, productividad y calidad. Por su parte, McKinsey (2015), a partir de una investigación con 300 empresas de Estados Unidos, Japón y Alemania, calculó que las ganancias en productividad pueden llegar al 26%. Por su parte, PWC (2014) también para el caso alemán, estimó las ganancias en productividad en 18% para cinco años y ahorros anuales de 2,65% por reducciones de costos.

Por su parte, Roland Berger (2016) simuló el impacto derivado de la implementación de estas tecnologías en una fábrica típica proveedora de partes de automóviles, considerando cinco factores de cambio tecnológico¹¹. Los impactos estimados de dicha implementación fueron un aumento simultáneo en el rendimiento del capital invertido (de 15% a 40%), la utilización de la planta (de un 65% a un 90%) y la rentabilidad (de un 6% a un 13,1%).

C. El debate sobre empleo y automatización

El rápido desarrollo de las tecnologías de automatización ha revivido la preocupación por la sustitución de trabajadores y la amenaza del desempleo estructural. La automatización de tareas cognitivas, que hasta hace poco solo podían ser realizadas por personas calificadas, es posible por el descenso de los costos de procesamiento y almacenamiento computacional y por el extraordinario avance logrado en las tecnologías de inteligencia artificial, en particular en los ámbitos *large-scale machine learning* y *deep learning* (The Economist, 2016b).

La evidencia hasta ahora no es concluyente acerca de la interacción entre empleo y automatización. Es claro que la manufactura avanzada volverá obsoleto el mercado del trabajo y redundante muchas cualificaciones que pueden automatizarse a bajo costo y alta confiabilidad, sin embargo, los antecedentes sobre el impacto de la automatización y la generación de empleos son contradictorios.

La perspectiva optimista sostiene que estas innovaciones tendrán el potencial de aumentar la productividad y promover la creación de nuevos puestos de trabajo, pero con características distintas a las ocupaciones tradicionales. En este caso, los nuevos empleos serán trabajos *freelance* y con alta flexibilidad, y cuyo reto será asegurar que no implique una pérdida de derechos (Surowieckijames, 2017). La postura más escéptica vislumbran un futuro menos auspicioso, en el cual los ahorros y mejoras en la productividad de las nuevas tecnologías llevarán a un desempleo estructural, y posiblemente a una estanflación de los salarios medios¹² (Kearney and other, 2015).

En cualquiera de estos escenarios se prevé que en el corto y mediano plazo las nuevas tecnologías van a desplazar empleos rutinarios o de baja calificación, se requerirá de nuevas habilidades de los recursos humanos para manejar y administrar las nuevas tecnologías y el efecto neto sobre el empleo en los sectores tradicionales será negativo. Sin embargo, cuán rápido las economías sean capaces para crear nuevos trabajos para reemplazar los perdidos, cuál será la evolución de los salarios y de la calidad del empleo y su impacto en la estructura ocupacional y la desigualdad es un tema de preocupación de política pública (OECD, 2016).

¹¹ Los cambios tecnológicos son los siguientes: i) Fábricas virtuales que permiten simular los procesos digitalmente previamente a su fabricación con lo que se acortan tiempos de desarrollo y lanzamiento de nuevos productos; ii) Flujos automatizados (vía vehículos autónomos o “eobots”), para hacer el sistema global más flexible y sensible y dar respuestas que superan la capacidad humana tradicional; iii) Máquinas inteligentes, que necesitan menos operarios que las tradicionales, pueden corregirse a sí mismas y operar en forma separada o en conexión unas con otras; iv) Mantenimiento predictivo, que permite mejorar la planificación y la eficiencia del tiempo de uso de las máquinas al poder predecir el tiempo de inactividad de estas; y v) Sistema ciber-productivo, que es el sistema de comando superior de la fábrica y sus proveedores, y permite la producción en masa personalizada y ajustar la producción a los cambios en la demanda.

¹² Además, la ampliación de brechas de desigualdad en el mercado laboral, donde los segmentos de la población sobrerrepresentados en los sectores de baja productividad, exacerbarán sus niveles de precariedad e informalidad.

Los estudios cuantitativos disponibles para Estados Unidos¹³ y otros países de la OECD y en desarrollo arrojan diversos resultados. De acuerdo a los investigadores de Frey and Osborne (2013), que utiliza una metodología basada en ocupaciones, el 47% de la fuerza de trabajo en EE.UU. están en riesgo de ser reemplazados por máquinas en las próximas décadas, mientras que el Banco Mundial (2016) estima que este porcentaje es de 57% para los países de la OECD. En el caso de las economías emergentes se ha estimado que para China e India la fuerza de trabajo en riesgo de automatización es de alrededor de un 77% y 69% respectivamente.

Así por ejemplo, un estudio del World Economic Forum (2016)¹⁴ para 15 economías, concluye que en el periodo 2015-2020 habrá una pérdida de 7,1 millones de empleos, acompañada de un aumento de 2 millones de nuevas posiciones, con un efecto neto de 5,1 millones de empleos perdidos, producto de distintas tendencias —económicas, sociales, demográficas y tecnológicas— que afectarán el mercado del trabajo. La mayor concentración en la pérdida de empleos se dará en funciones de administración con 4,7 millones, seguido por la manufactura y producción con 1,6 millones. En ambos sectores, a diferencia de los otros considerados en el estudio, es más evidente el impacto sustitutivo de las nuevas tecnologías, que junto con otros factores socioeconómicos explicaría el decrecimiento. Los mismos factores tecnológicos serían importantes para explicar el crecimiento de los empleos relacionados con la computación y las matemáticas, y la arquitectura e ingeniería, los cuales crecerían en 405 y 339 mil respectivamente¹⁵.

D. El modelo de Internet industrial

Ante los nuevos desafíos como el cambio climático, el aumento de la desigualdad y los impactos disruptivos de las nuevas tecnologías en el empleo, los países desarrollados hacen la corrección estructural para enfrentar este nuevo ciclo económico. Ejemplos de estas correcciones estructurales son el renacimiento de las estrategias de política industrial —de Internet Industrial— el fortalecimiento de los sistemas nacionales de innovación y la revisión de los megaacuerdos de cooperación regional que incluyen temas de economía digital —comercio, estándares y propiedad intelectual.

La Internet industrial es un facilitador del cambio estructural de la economía cuyo desarrollo y despliegue se producen en un ecosistema caracterizado por la convergencia entre diversas plataformas tecnológicas como la Internet de las cosas (IoT), las redes de conectividad, la computación en la nube, el almacenamiento y la analítica de grandes datos la robótica y los sistemas de inteligencia artificial, entre otros (véase capítulo II.C).

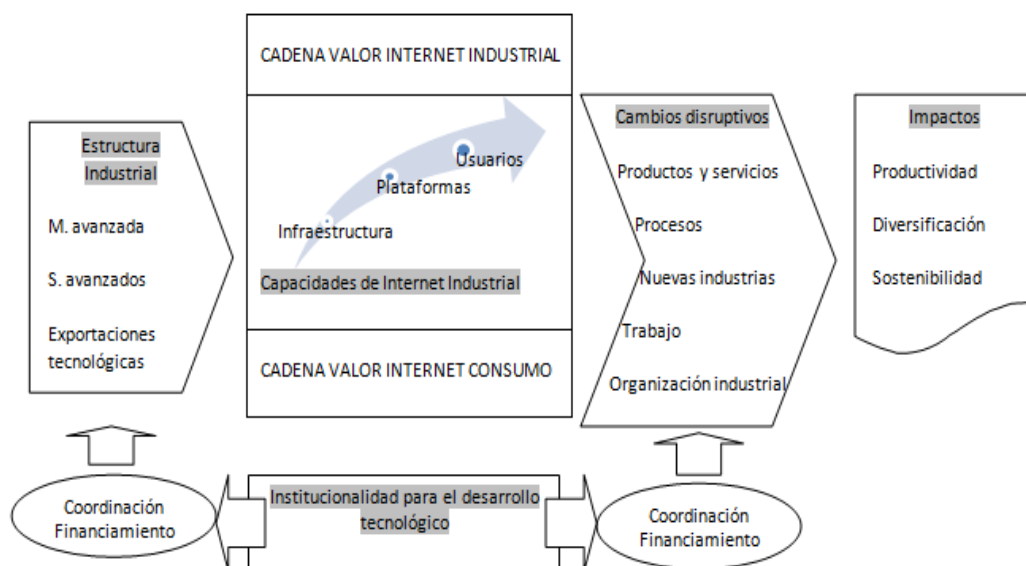
En este modelo se plantea que los cambios disruptivos y los impactos de la Internet Industrial —en los ámbitos económico y social— va a depender de la estructura industrial existente y del desarrollo de cada componente del ecosistema de la Internet industrial. En el primer ámbito, se consideran el impacto en la productividad y la diversificación productiva. Y en el segundo, destacan los impactos en la sostenibilidad ambiental. La estructura industrial, a su vez, depende de la masa crítica de empresas de base tecnológica —de manufactura avanzada, servicios avanzados y exportadores tecnológicos—, y de las políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación, como de la institucionalidad de la política industrial (véase el diagrama 2).

¹³ La reducción de empleos en la industria manufacturera de EE.UU en los últimos 25 años – de 18 a 12 millones de trabajadores- ha puesto de relieve el impacto de la automatización industrial y digitalización económica en el modo de funcionamiento de las fábricas, la sustitución de los trabajos de mediana calificación y los cambios disruptivos en el mercado de trabajo.

¹⁴ Encuesta a 371 empresas globales que representan más de 13 millones de empleados en 9 industrias y 15 países, que extrapolado corresponde alrededor del 65% de la fuerza de trabajo a nivel mundial.

¹⁵ Sin embargo, el mismo estudio concluye que el panorama futuro es bastante más complejo y multivariable como para atribuir los efectos en el mercado laboral sólo a la digitalización y la automatización.

Diagrama 2
Modelo de Internet industrial



Fuente: Elaboración propia.

El ecosistema de la Internet industrial se organiza en tres componentes principales que, según su grado de desarrollo y complementación, determinan su nivel de madurez y el tipo de políticas públicas necesarias en cada país. En este modelo, la infraestructura —redes de banda ancha— es el primer componente de la Internet industrial. Los elementos básicos de esa infraestructura son la conectividad nacional e internacional, las redes de acceso local, los puntos de acceso público y la asequibilidad.

Un segundo componente es el de las plataformas que considera las redes de conectividad de corto y mediano alcance, las plataformas transversales y de especialización vertical (véase capítulo II.C). En las plataformas transversales se incluyen el almacenamiento de datos, computación en la nube, Internet de las Cosas, big data, high performance computer, entre otras. Las plataformas de especialización vertical se consideran las tecnologías especializadas de sensores, manufactura aditiva, plataformas de redes, aplicaciones de visualización, robots e inteligencia artificial, entre otros.

El tercer componente son los usuarios de las aplicaciones en los ámbitos de la industria (manufacturera y energía), las ciudades, el transporte y la logística. La capacidad de adopción de estas aplicaciones avanzadas va depender del grado de estandarización y automatización de los procesos que tengan las actividades productivas y de servicios. Además, es clave la capacidad de las empresas —en el ámbito tecnológico, de ingeniería y financiero— para la implementación exitosa de iniciativas tales como procesos de monitoreo, de optimización y de gestión autónoma. En términos de impacto, en las empresas, mejoran la eficiencia de los procesos productivos y promueven la creación de nuevos productos y servicios; en las comunidades locales aumentan la eficiencia en la provisión de servicios públicos y la transparencia y, para ambos, mejoran la sostenibilidad ambiental.

La institucionalidad para el desarrollo tecnológico corresponde al conjunto de políticas asociadas a los “factores complementarios” del ecosistema, considerando que estas tecnologías son de propósito general, es decir, transversales a mercados y actividades. Las experiencias exitosas de difusión digital demuestran que el desarrollo de complementariedades es un requisito para la masificación de los beneficios de estas tecnologías y, por lo tanto, se debe articular sectores económicos para materializar los efectos de derrame y la generación de complementariedades en el conjunto de la economía. En este sentido, las inversiones en Internet industrial tendrán un mayor impacto en la medida en que sean

acompañadas por políticas que aseguren el desarrollo de los factores complementarios en los ámbitos de la política industrial, de emprendimiento, recursos humanos, innovación y economía digital.

Las políticas públicas para la Internet industrial deben actuar sobre los factores críticos que condicionan el despliegue de este ecosistema y se pueden organizar en cuatro categorías: inserción tecnológica internacional, infraestructura y regulación, políticas de oferta y demanda.

En este proceso de transformación, la infraestructura digital de base son las capacidades existentes en la cadena de valor del Internet del consumo en sus diferentes eslabonamientos, destacando las capacidades en desarrollo de aplicaciones, agregación de contenido, alojamiento y transporte. El desarrollo de capacidades nacionales de Internet industrial va a depender de la base digital existente y la eficacia de las políticas públicas para que los países se incorporen en la cadena de valor de la Internet industrial internacional. Un proceso exitoso de transformación se debería expresar en un vector de cambios disruptivos —a nivel de productos y servicios, procesos, nuevas industrias, trabajo y organización industrial— para generar impactos en productividad, diversificación y sostenibilidad.

II. El ecosistema de la manufactura avanzada

A. El sector de manufactura avanzada

Existe una definición más amplia de industria avanzada con 50 sectores para el caso de Estados Unidos que incluye, además de la manufactura avanzada y servicios avanzados, a la industria de equipos médicos, química, petróleo y gas, farmacéutica, generación eléctrica e ingeniería. El conjunto de estos sectores ha sido estratégico para la economía de Estados Unidos, en términos de actividad e innovación tecnológica: en el año 2013, representó el 9% del total de empleo (12,3 millones de trabajadores), el 17% del producto interno bruto (US\$ 2,7 mil billones) y el 60% de las exportaciones. Además, empleó al 80% de los ingenieros a nivel nacional, generó el 85% de las patentes y el 90% de los gastos del sector privado en investigación y desarrollo. Entre los años 1980 y 2013 la industria avanzada creció a una tasa de 5.4% anual, esto es 30% más alto que la economía en su conjunto (Muro and other, 2015).

En este trabajo se han identificado diez macrosectores de manufactura avanzada, tomando como referencia los sectores industriales de los Estados Unidos con mayor innovación tecnológica y calificación de recursos humanos. En el cuadro 4 se presentan los sectores de manufactura avanzada que poseen el mayor gasto en investigación y desarrollo por trabajador y la mayor proporción de empleados con formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM)¹⁶.

La organización industrial de la manufactura avanzada ha cambiado significativamente en la última década, principalmente en los ámbitos de sus estrategias corporativas, modelos de operación, nuevos mercados y alianzas estratégicas. Frente al cambio tecnológico y la competencia, las empresas se han visto forzadas a modernizar sus cadenas de producción, sofisticar los productos y desarrollar nuevos segmentos de mercado de alta tecnología. Ello ha sido posible por la convergencia entre la manufactura, la electrónica, el *software* y las redes de comunicación, en un contexto donde, a partir de la crisis

¹⁶ La identificación de actividades de manufactura avanzada fueron identificadas de acuerdo a tres criterios: sectores pertenecientes al sector manufacturero; gasto en investigación y desarrollo por trabajador a lo menos en el 80 percentil de la industria, con un gasto superior a US\$ 450 por trabajador; y la proporción de trabajadores del sector en ocupaciones especializadas en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM) esta sobre el promedio nacional, es decir más del 21% de los trabajadores.

financiera de 2008, se inició una intensa actividad de fusiones y adquisiciones. En el cuadro 5 se presentan las principales empresas de la manufactura avanzada a nivel internacional.

Cuadro 4
Los principales sectores de manufactura avanzada

Macrossectores	Gasto en I&D por trabajador (US\$ por trabajador, 2009)	Proporción de trabajadores con formación en CTIM (% en 2012)
Industria automotriz	48 461	27
Autopartes y equipo automotriz	6 791	36
Aeronáutica	20 501	59
Equipos y componentes eléctricos	820	37
Industria electrónica	60 338	71
Máquinas y herramientas	23 671	50
Maquinaria para construcción y minería	11 709	39
Servicios de automatización industrial	13 330	42
Equipo de hardware	91 428	57
Industria de semiconductores	49 612	50

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de Brookings Institution, Comisión Europea y base de datos de Bloomberg.

Cuadro 5
Principales empresas de manufactura avanzada

Macrossectores	Principales empresas
Industria automotriz	Toyota, Volkswagen, G.M., Ford, Fiat Chrysler, Saic Motor, Daimler, Honda y Nissan
Autopartes y equipo automotriz	Robert Bosch, Denso, China South, Continental, Zf Friedrichshafen, Magna, Hyundai, Aisin, Johnson Controls
Aeronáutica	Boeing, Airbus, China North, Lockheed Martin, Aviation I of China, China Aerospace, United Technologies, Northrop Grumman, y General Electric
Equipos y componentes eléctricos	Siemens, General Electric, Hitachi, ABB, United Technologies, Schneider Electric, Mitsubishi, Honeywell, Toshiba, Daikin Industries
Industria electrónica	Samsung, LG, China Electronic, Boe Technology, Au Optronics, Innolux, Japan Display, Sharp, Byd Co y Delta Electronics
Máquinas y herramientas	Caterpillar, Deere, China National Machinery, Hitachi, Komatsu, Fiat, CNH, Atlas Copco, Kubota y Shaanxi
Maquinaria para construcción y minería	Caterpillar, Deere, China National Machinery, Hitachi, Komatsu, Fiat, CNH, Atlas Copco, Kubota y Shaanxi
Maquinaria, automatización y robótica	Siemens, Panasonic, Hanwha, Yaskawa Electric, Kuka, Sensata Technologies, Yokogawa Electric, Omron Corp y Rockwell Automation
Equipo de hardware	Apple, Samsung, HP, Legend Holdings, Lenovo, Cisco, Panasonic, Sony, LG y Huawei
Industria de semiconductores	INTEL, Samsung, TSMC, Qualcomm, Sk Hynix, Texas Instruments, Broadcom, Toshiba, Micron Technology y Applied Materials.

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de la base de datos de Bloomberg de acuerdo al nivel de ingresos de la empresa.

La industria automotriz es un claro ejemplo de la convergencia entre los productores tradicionales de vehículos han convergido con las empresas tecnológicas. A pesar de que la producción mundial se ha trasladado de manera importante hacia economías emergentes, las empresas que han desplegado esta estrategia son las mismas que han dominado la industria en las últimas décadas. Entre 2000 y 2015, cuatro de los cinco mayores fabricantes de vehículos se han mantenido en la cúspide de la industria: la

japonesa Toyota, la alemana Volkswagen y las estadounidenses General Motors y Ford Motor lograron defender posiciones de liderazgo. A través de la generación de capacidades y conocimientos basados en nuevas tecnologías digitales, se ha avanzado en alternativas al paradigma dominante del motor de combustión interna y facilitar la incorporación de la electrónica, el software y la conectividad en los automóviles (Calderón, 2017). La industria enfrenta importantes desafíos tecnológicos para abordar el desarrollo de los vehículos eléctricos, digitales y autónomos, observándose la presencia de nuevos entrantes pertenecientes a la industria de TIC tales como las empresas denominadas *over the Top* — Google, Apple y Uber— y de software y electrónica —Intel y Samsung— (S&P, 2017).

La industria de autopartes y equipo automotriz adquiere cada vez más relevancia en la cadena de valor de la industria automotriz¹⁷. Para contar con una base de proveedores confiable, los fabricantes los alentaron a establecer sus propias fábricas en los mercados hacia donde se desplazaba la producción. En este proceso, los proveedores aumentaron su tamaño y rápidamente se convirtieron en empresas globales, tales como R Bosch, Denso, China South y Continental (véase cuadro 5). Así, los fabricantes de vehículos son cada vez más ensambladores y menos “fabricantes”. Entre 1985 y 2015, la contribución de los proveedores al valor agregado total de la industria aumentó de 56% a 82% (Kallstrom, 2015). La estabilidad y la rentabilidad de los fabricantes de vehículos están intrincadamente ligadas a su creciente base global de proveedores, dinámica que ha intensificado la dependencia de los fabricantes de sus proveedores, especialmente en los mercados emergentes. En la medida que acelera la expansión internacional de la industria y la convergencia entre la automoción convencional y la electrónica, los fabricantes establecen relaciones más estrechas con sus proveedores (CEPAL, 2017).

La industria aeronáutica, liderada por Estados Unidos seguida de Francia, Reino Unido y Alemania, es un caso particular de la manufactura avanzada por su capacidad de innovación, predictibilidad de la demanda y su estructura de mercado. Esta industria es fuente de empleos especializados, así como de nuevas tecnologías a lo largo de su cadena productiva, en la medida que se participa en el diseño y manufactura de partes y componentes de aviones cada vez más complejos, como por ejemplo los nuevos modelos A320 y A350, además de nuevas versiones del 737 y A320 (S&P Global, 2017). Reportes de las principales empresas muestran un positivo crecimiento de los aviones comerciales en los próximos años. Una parte importante de esta demanda es cubierta por el duopolio de las empresas más grandes, Boeing (Estados Unidos) y Airbus (Reino Unido, Alemania y Francia) que producen aviones con capacidad para más de 100 pasajeros (véase cuadro 5). Sin embargo, ensambladores de aviones más pequeños, localizados en países emergentes, como Embraer (Brasil), Bombardier (Canada), Mitsubishi Aircraft (Japón) están abordando nuevos nichos de producción asociados a aviones de menor capacidad (Aragon, 2015).

El sector de automatización industrial —que comprende los equipos eléctricos, maquinaria, automatización y robótica— es un proveedor tecnológico clave para la industria manufacturera y la infraestructura. Los principales países exportadores son China, Alemania, Estados Unidos y Japón, con una demanda creciente de productos asociada a la industria automotriz, industria alimentaria, electrónica, metalmecánica, petróleo y gas, química, farmacéutica, infraestructura, transporte y logística (International Trade Administration, 2015). La mayor parte de la producción es generada por las divisiones de automatización de grandes conglomerados industriales (Global 500), destacando a Samsung, General Electric, Siemens, Hitachi, Honeywell, ABB, China Electronics y Caterpillar (véase cuadro 5). Se prevé que el mercado de automatización industrial siga creciendo como consecuencia de la convergencia de los procesos de manufactura y las tecnologías digitales, generando nuevos formatos de la fábrica digital.

¹⁷ La producción de vehículos requiere miles de piezas e insumos de muchos proveedores. Un automóvil se compone típicamente de 20.000 a 30.000 piezas (JAMA, 2016). En el pasado, la cadena de valor estaba fuertemente controlada por los fabricantes de vehículos limitando de manera significativa el poder de negociación de los proveedores. Sin embargo, como parte de estrategias de reducción del riesgo, algunos fabricantes se han desvinculado de sus subsidiarias especializadas en componentes, siendo este el caso de Ford, General Motors y Toyota con Visteon, Delphi y Denso, respectivamente.

Una de las estrategias seguidas por los conglomerados de automatización industrial, es la creación de divisiones de aplicaciones digitales para proveer servicios para conectar objetos en el ecosistema de la internet Industrial, destacando los casos de las divisiones de GE Digital, Bosh Software, ABB Digital y Honeywell Digital Transformation y Schneider Electric, entre otras. Esto ha permitido generar una rápida transición a la arquitectura cloud de los sistemas de manufactura tales como la gestión de activos, dispositivos inteligentes y otros Sistemas de Ejecución de Manufactura (SEM) y han creado una nueva oleada de aplicaciones móviles en todo el espectro de aplicaciones de gestión de la producción. Además, estas condiciones de mercado ha estimulado el proceso de fusiones y adquisiciones entre empresas de automatización industrial que han incorporado nuevas capacidades tecnológicas más allá de competencias centrales, tales como la computación en la nube, analítica de datos, software, inteligencia artificial y otras capacidades críticas asociadas a la Internet Industrial (Control, 2016).

Un ejemplo de automatización en la nube, es el caso de la empresa ABB que lanzó su estrategia de sensores inteligentes en el año 2016, permitiendo conectar vía Internet a cientos de millones de motores eléctricos en operación a nivel global, a través a través de diversas plataformas de software. Este tipo de aplicaciones permite reducir los tiempos de inactividad de los equipos en un 70%, prolonga la vida útil en un 30% y reduce el consumo de energía hasta un 10%. Además, ha liderado la aplicación de "co-bots" —robots colaborativos— que trabajan en conjunto con los seres humanos para mejorar la seguridad, aumentar la productividad y liberar a las personas de trabajos peligrosos e inseguros (ABB, 2016).

La industria de *hardware* y semiconductores tienen ciclos de crecimiento de largo plazo y, desde el año 2015, han mostrado signos de declinación como consecuencia de la maduración de los principales mercados de equipos electrónicos, tales como unidades de PC, consolas y teléfonos inteligentes. Las empresas más representativas de esta industria, tales como Intel, Samsung, HP, Qualcomm y Cisco (véase cuadro 5), se han diversificado desde la manufactura hacia los segmentos de mayor valor agregado, como son los servicios de *software*, la integración de sistemas, infraestructura y diseño y desarrollo de nuevos productos. En este contexto, las empresas han continuado priorizando las estrategias de fusiones y adquisiciones con el objetivo de lograr economías de escala y diversificación tecnológica, focalizándose en aquellos segmentos más dinámicos asociados a dispositivos de memoria, redes ópticas y componentes electrónicos para automóviles. También presentan buenas perspectivas las compañías que proveen soluciones de arquitectura y servicios cloud, almacenamiento de datos, movilidad, big data e industria wireless. Hasta ahora, el impacto de los nuevos segmentos de la Internet Industrial no son significativos pues representa solo una pequeña proporción del gasto de TIC de la industria (S&P Global, 2017).

B. El sector de servicios avanzados

En la manufactura avanzada es cada vez más difícil distinguir entre manufactura y servicios avanzados. Las ventajas asociadas a las economías de escala han sido complementadas con las economías de ámbito (scope), en el sentido que las empresas generan mayor valor agrupando una variedad de productos y servicios ofreciendo soluciones integradas —end-to-end—. La expresión más común de este fenómeno es la interface entre los componentes de hardware, software y redes de comunicación que deben funcionar coordinadamente para el funcionamiento de procesos complejos (Tassey, 2014). Otra dimensión de este fenómeno es los nuevos modelos de negocios, —anything as a service—, para rentabilizar maquinaria, equipos e infraestructura intensiva en capital tales como maquinaria como servicios (ejemplo Rolls Royce con las turbinas de avión), procesamiento computacional como servicio (*cloud high performance computing*) o infraestructura como servicio (servicios de data center).

En este trabajo se han identificado seis macrosectores de servicios avanzados, tomando como referencia los servicios de software y telecomunicaciones de los Estados Unidos, que interactúan con mayor frecuencia con la manufactura y poseen una alta innovación tecnológica y especialización de recursos humanos. En el cuadro 6 se presentan los sectores de servicios avanzados que poseen el mayor

gasto en investigación y desarrollo por trabajador y la mayor proporción de empleados con formación CTIM¹⁸.

Cuadro 6
Principales sectores de servicios avanzados

Macrosectores	Gasto en I&D por trabajador (US\$ por trabajador, 2009)	Proporción de trabajadores con formación en CTIM (% en 2012)
Software de aplicaciones	27 476	40
Procesamiento de datos	1 020	56
Software computacional	722	74
Software gráfico y realidad virtual	80 977	70
Telecomunicaciones móviles	454	40
Servicios de telecomunicaciones	1 998	57

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de Brookings Institution, Comisión Europea y base de datos de Bloomberg.

La relevancia de la industria del software en los servicios avanzados en particular, y de las TIC, en general, está en su aporte al proceso de digitalización de la manufactura. La industria de *software*, de la misma manera que la manufactura avanzada, está sujeta a las economías de escala “kaldorianas”, tiene efectos de derrame sobre todos los demás sectores de la economía, induce aumentos de productividad y contribuye a diversificar la oferta exportadora, constituyéndose en un motor para el crecimiento económico de países. En el contexto del proceso de convergencia de las redes de comunicación, los equipos de hardware y los servicios, el *software* se ha convertido en el núcleo de la Internet Industrial y la manufactura avanzada. En el cuadro 7 se presentan las principales empresas de software y de servicios de telecomunicaciones a nivel internacional.

Cuadro 7
Principales empresas de servicios avanzados

Macrosectores	Principales empresas
Software de aplicaciones	Microsoft, SAP, Alphabet inc, Tencent, Sony, Salesforce, Activision Blizzard, Adobe Systems, Intuit y Electronic Arts
Procesamiento de datos	Huawei, IBM, Accenture, Hewlett Packard, Fujitsu, Nec corp, Tata y NTT Data
Software computacional	Microsoft, Oracle, IBM, Amazon, Vmware, Symantec, ATEA, Ca Technologies, Citrix Systems y Itochu Techno-Solutions
Software gráfico y realidad virtual	Microsoft, SAP, Alphabet inc, Tencent, Sony, Salesforce, Activision Blizzard, Adobe Systems, Intuit y Electronic Arts
Telecomunicaciones móviles	AT&T, Verizon, China Mobile, Nippon Telegraph, Deutsche Telekom, Softbank Group, Vodafone, Telefónica y Orange
Servicios de telecomunicaciones	AT&T, Verizon, China Mobile, Nippon Telegraph, Deutsche Telekom, Softbank Group, Vodafone, Telefónica y Orange

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de la base de datos de Bloomberg de acuerdo al nivel de ingresos de la empresa.

Uno de los fenómenos de mayor significación en la industria de software ha sido la emergencia de “empresas plataformas” —por ejemplo Apple, Alphabet (ex Google), Microsoft y Amazon— que han generado cambios disruptivos no solo en los ámbitos de servicios digitales, sino también en la

¹⁸ La identificación de actividades de servicios avanzados fueron identificadas, a partir de los servicios TIC, que cumplen los mismos criterios en gasto en investigación y desarrollo por trabajador y proporción de trabajadores del sector en ocupaciones especializadas que la manufactura avanzada.

manufactura, transporte, la banca, la salud y energía. De las 25 principales empresas plataformas 15 de ellas son de EE.UU., 4 de China, 3 de Japón y el resto de Alemania, Corea y Sudáfrica. Estas empresas han contribuido a mejorar la productividad de múltiples formas, generar nuevos espacios de intercambio a través de la *share economy* y promover la innovación. Estos nuevos modelos de negocios, sin embargo, también han generado preocupaciones y controversias regulatorias por su capacidad para dominar los mercados, socavar la competencia, eludir impuestos y obligaciones laborales (Evans and Gawer, 2016).

A pesar del rápido crecimiento del mercado de software y la incorporación de nuevos entrantes, un reducido grupo de empresas controla la industria, destacando las empresas estadounidenses como Microsoft, Alphabet (ex Google), Salesforce, Amazon, Oracle, IBM, HP, Accenture, Adobe, entre otras. A esta lista de empresas dominantes se agregan Tencent y Huawei de China, Sony y Fujitsu de Japón y SAP de Alemania. Estas empresas destinan significativos recursos para investigación y desarrollo en las áreas de aprendizaje de máquina, digitalización de la producción y despliegue del *cloud computing*. Las estrategias seguidas para enfrentar la declinación de las ventas en los segmentos más tradicionales, han sido innovar en nuevas áreas y generar valor con soluciones —endo-end”, a través de la co-creación de proyectos, productos y servicios con otras empresas dentro de sus plataformas. El foco ha estado centrado en el desarrollo de software asociado a las denominadas —tecnologías exponenciales”, tales como robotización, realidad virtual, impresoras 3D e inteligencia artificial. En estos casos las nuevas plataformas de software son esenciales para viabilizar el desarrollo de tecnologías cognitivas, donde destacan la visualización computacional, aprendizaje de máquina, procesamiento de lenguaje natural y patrones de reconocimiento. Ejemplo de recientes alianzas tecnológicas son las de IBM y CISCO y de Amazon, Alphabet (ex Google) y Facebook (Deloitte, 2016b).

En el caso de los servicios de telecomunicaciones, aunque es un sector maduro y competitivo, con empresas de larga data en los mercados de Estados Unidos, Europa y Asia Pacífico tales como AT&T, Verizon, China Mobile, Nippon Telegraph and Telephone y Deutsche Telekom (véase cuadro 7), deben hacer frente a los cambios disruptivos en los patrones de uso, con un incremento exponencial de la demanda de servicios banda ancha y datos en tecnología wireless. Frente al explosivo aumento del tráfico de datos se requiere de un aumento de las inversiones en redes de nueva generación para asegurar las coberturas y calidad de los servicios de banda ancha fija y móvil. El principal desafío de la industria es compatibilizar, en un ambiente de creciente convergencia e hiperconectividad, la compleja relación entre inversión, competencia e innovación¹⁹. La industria se enfrenta a un triple desafío: materializar nuevas inversiones en infraestructura para renovar sus redes de comunicación con los estándares que requieren los nuevos servicios de tráfico de datos, sostener la rentabilidad de los servicios prestados con la infraestructura de redes tradicionales y avanzar en mecanismos que aceleren el desarrollo y la adopción de la Internet industrial en los ámbitos de seguridad, espectros de radio, interoperabilidad y privacidad (OECD, 2016).

C. Las bases tecnológicas de la Internet industrial

La Internet industrial se organiza en tres pilares tecnológicos principales: redes de conectividad, plataformas *cross industry* y especialización vertical, donde convergen diversas tecnologías que están en distintos niveles de desarrollo. Entre estas destacan las redes de conectividad, la Internet de las cosas, la robótica, los sistemas de inteligencia artificial, la manufactura aditiva, la computación en la nube, el almacenamiento y la analítica de grandes datos (véase el cuadro 8). Sin embargo, este nivel de densidad en el despliegue y uso de nuevas tecnologías traerá consigo la aparición de retos de elevada complejidad para empresas y organizaciones a la hora de gestionar el seguimiento de las actividades que tienen lugar en el ecosistema de la Internet Industrial.

¹⁹ Generalmente la competencia entre las redes de comunicaciones y los proveedores de servicios conduce a más opciones de consumo, mejor calidad de servicios de comunicaciones y menores precios. Sin embargo, algunos argumentan que los proveedores de servicios de voz y video *over-the-top* inhiben a los operadores de infraestructura a invertir en la expansión de nuevas redes y creación de contenidos. Otros creen que esta situación estimula la innovación y competencia en el mercado de comunicaciones y, por lo tanto, promueve la inversión. La relación dinámica de competencia, inversión e innovación es esencial para crear un círculo virtuoso.

Cuadro 8
Los tres pilares de la Internet industrial

	Madura	Fase avanzada	Emergente
Conectividad	Banda ancha fija y móvil 3G y 4G	Short to medium range wireless: Wifi, Bluetooth, mesh, NB-IoT y LPWAN	Redes de nueva generación (5G)
Plataformas <i>cross industry</i>	Almacenamiento de datos, computación en la nube y common sensors	IoT, M2M, big data, dispositivos inteligentes y plataformas de seguridad	High performance computing y plataformas de IoT
Especialización vertical	Uncommon sensors y manufactura aditiva (3D)	Sistemas ciber-físicos, Network platforms, drones y vehículos autónomos	Visualización, robots e inteligencia artificial

Fuente: elaboración propia con base en el hypercycle de Gartner.

La digitalización de la producción industrial se ha acelerado en los últimos años como resultado de una nueva convergencia entre las tecnologías de operación de procesos industriales (TO) y la Internet Industrial. Durante las últimas cinco décadas han existido tres fases principales de convergencia, destacando la más reciente donde los desarrollos asociados a la Internet de las cosas, la computación en la nube, la analítica de grandes datos y la robotización han permitido la emergencia de un nuevo modelo de fábrica, cambiando los paradigmas de los procesos de producción, organización y los modelos de negocios principalmente en el sector industrial.

La automatización industrial y su convergencia con las tecnologías de información no es un fenómeno nuevo, se ha dado en etapas sucesivas permitiendo, inicialmente, el mejoramiento de las tecnologías de operación a nivel de actividades individuales en los años 1960/70, posteriormente, a nivel de coordinación de actividades a partir de los años 1980s, y, recientemente, a nivel del ciclo completo del producto (véase cuadro 9).

Cuadro 9
Evolución de las tecnologías de automatización

	Operaciones Ingeniería	Procesos de negocios Proveedores	Periodo de desarrollo
Actividades individuales a nivel de maquina	Computer Numeric Control (CNC) Computer Aided Design (CAD)	Manufacturing Resources Planning	1960/70
Coordinación de actividades a nivel de fábrica, proveedores y clientes	Computer Integrated Manufacturing (CIM) Distributed manufacturing Digital Simulation 3D Digital Modeling	Customer relationship Management (CRM) Supply Chain Management Enterprise Resource planning (ERP)	1980/90
Ciclo completo del producto a nivel de la cadena de valor	Virtual Manufacturing Enterprise Modeling, simulation and Analysis Remote High-performance Computing	Cloud-based CRM Cloud-based ERP	2010/actualidad

Fuente: elaboración propia.

La irrupción de este nuevo modelo tecnológico, además de permitir mejorar el control de los procesos y la flexibilidad en escala de la producción, tiene implicancias estructurales en la organización económica. En este caso, no solo se trata de conectar objetos y máquinas para coordinar operaciones, ni tampoco constituir redes de optimización inteligente, sino que se abre la posibilidad, por primera vez en la historia de la humanidad, de la construcción de sistemas de aprendizajes autónomos. En el cuadro 10 se

presenta la evolución de la fábrica digital en los ámbitos de automatización, conectividad e interacción humana. Desde la situación actual, con procesos de automatización simples y repetitivos y, además, una robotización aislada, se pasará por procesos más complejos y flexibles, con una robotización colaborativa, hasta llegar a procesos inteligentes y adaptativos y, principalmente, con robots autónomos.

Cuadro 10
Evolución de la fábrica digital

	En la actualidad	En 5 años	En 10 años
Conectividad	Redes locales	Integrada	Híper conectividad
Automatización	Simple y repetitiva	Compleja y flexible	Inteligente y adaptativa
Interacción humana	Caged robot	Robots colaborativos	Máquinas que aprenden

Fuente: presentación ABB.

Los principales impactos de la Internet industrial en la fábrica manufacturera van a estar en el desarrollo de las tecnologías de realidad virtual, robótica, inteligencia artificial y aprendizaje autónomo. Estas nuevas tecnologías van a tener un rol fundamental en la constitución de las fábricas digitales, en un contexto de acelerada transición de las funciones corporativas TIC de las fábricas a la arquitectura *cloud*.

Este proceso enfrenta diversas dificultades, destacando la complejidad de las interacciones entre las aplicaciones de IoT y las plataformas cloud, así como los aspectos de latencia de las redes de comunicación y los mecanismos de seguridad aplicado a los procesos de manufactura. Entre las áreas de desarrollo prioritarias en las cadenas de producción de manufactura, destacan el concepto de User-Centric de las plantas de fabricación, los modelos de arquitectura descentralizada de Fog Computing y la relación entre los procesos productivos y logísticos (Control, 2016).

En el entorno de la fábrica digital el concepto de User-Centric es definido como el conjunto de tecnologías asociadas al modelamiento del comportamiento y contingencias de las cadenas de producción. Estas corresponden a herramientas de simulación, modelos de representación y cálculo que evalúan tanto la capacidad de los sistemas, a la hora de incrementar la producción, como su respuesta ante situaciones inesperadas o cambios operativos (Schneider Electric).

El *fog computing* aplicado a la fabricación, es otro concepto innovador asociado al uso de sistemas de procesamiento masivo y analítica, que requieren de plazos de respuesta cada vez más breves. Cumplir con tales requerimientos resulta problemático a través de los actuales modelos IoT, dotados de circuitos centralizados y empoderados por modelos de gestión basados en cloud; no obstante, los modelos dotados de arquitectura descentralizada que posee *fog computing* son capaces de llevar recursos y servicios computacionales a los extremos de la infraestructura, consiguiendo construir un efectivo eslabón de continuidad entre la fuente de datos y la nube (Open Fog Consortium).

Además de los desafíos acerca de la automatización y la robotización de las fábricas, las nuevas fábricas inteligentes necesitan establecer relaciones entre los procesos logísticos y las máquinas, estableciendo nuevos modelos y protocolos de comunicación a escala interna y, además, conectando y proporcionando información de valor de la cadena de suministro hacia el proveedor y también hacia el cliente. En este caso es necesario un diálogo M2M de todos los componentes que integran la cadena de producción.

D. El proceso de convergencia de la manufactura y los servicios

Una de las características de la transformación del ecosistema de las TIC, a partir de la década de los 90s, fue la convergencia entre las industrias de hardware, software, telecomunicaciones y servicios, principalmente financieros y medios de comunicación, definiendo convergencia como una dinámica competitiva donde se diluyen las fronteras o límites de las industrias y unifica tecnologías, debido a que las empresas están continuamente buscando nuevas formas de crear valor (Basole and other, 2014).

Recientemente, un proceso de transformación similar de convergencia se está produciendo entre los diversos segmentos del ecosistema de la manufactura avanzada, como consecuencia de la reconfiguración de las cadenas de valor a través de la adición o eliminación de actividades, consolidación a través de fusiones y adquisiciones o a través de la completa expansión de actores en todo el ecosistema. Segmentos de industrias tradicionalmente separadas como maquinaria, electrónica, semiconductores, software, procesamiento de datos y telecomunicaciones, están ahora estrechamente interrelacionados, ofreciendo productos y servicios cyber físicos integrados y empaquetados.

Expertos han intentado medir convergencia de diferentes formas, incluyendo diversificación corporativa, relaciones tecnológicas, colaboración en patentes, análisis macroeconómico de insumo-producto y medidas analíticas de redes. En este trabajo se ha utilizado este último enfoque, estimando medidas analíticas de redes de adquisiciones y fusiones dentro del ecosistema de la manufactura avanzada, replicando el análisis metodológico de convergencia realizado por Basole and other (2014) en el ecosistema TIC. Además del cálculo de métricas de redes de adquisiciones y fusiones, se ha utilizado herramientas de visualización para caracterizar la dinámica competitiva de convergencia a través del tiempo.

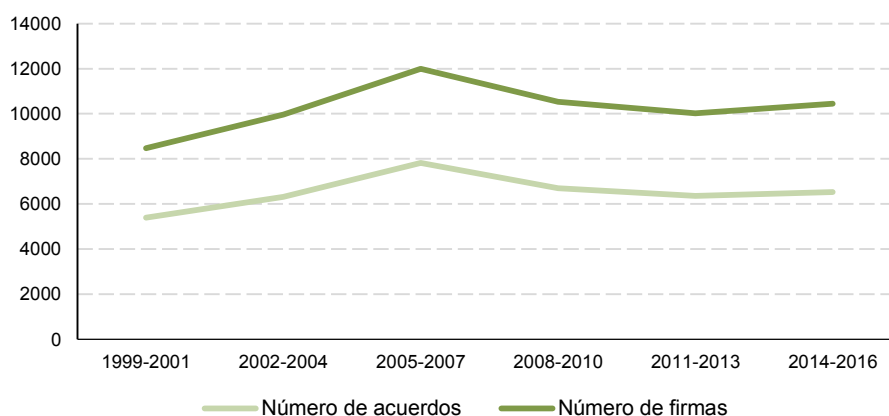
La base de datos usada en este trabajo es la de Merger & Acquisitions(M&A) de Bloomberg. Esta base contiene información de firmas que realizaron operaciones de M&A y de inversión minoritaria²⁰ en activos de otras firmas. De esta base de datos se utilizaron alrededor de 102 mil casos que corresponden a acuerdos que fueron anunciados entre el 1 de enero de 1990 y el 31 de diciembre de 2016, donde alguna de las entidades involucradas en los acuerdos —ya sea la que es objetivo de la adquisición o la adquirente— pertenecen a la industria avanzada y los servicios avanzados. Posteriormente, se realizó un proceso de filtrado y selección de atributos relevantes, en que se mantuvieron solo los casos en que existió una operación de M&A y que ambas entidades perteneciesen a los sectores seleccionados, quedando disponibles alrededor de 40 mil casos de M&A con participación de 53 mil firmas del ecosistema de la manufactura avanzada.

Considerando las características tanto del fenómeno a estudiar como de los datos disponibles —siendo ambos relacionales—, se opta por una estrategia de modelos con grafos dirigidos, en línea con la forma usual de abordar ejercicios de redes económicas. La ventaja principal que tiene los modelos con grafos es la existencia de un marco teórico para abordar estas estructuras. En el Anexo se presentan los elementos de teoría de grafos, explicando el marco conceptual con el que se aborda el proceso de convergencia.

En relación al análisis de los resultados del proceso de M&A en el ecosistema de la manufactura avanzada, en el gráfico 3 se presentan el número de firmas y de acuerdos de M&A acumulativo para cada uno de los siguientes periodos: 1999-2001, 2002-2004, 2005-2007, 2008-2010, 2011-2013 y 2014-2016. La evolución de estas variables indica que el número de empresas involucradas y el número de acuerdos en M&A aumentó a una tasa similar entre 1999-2007 y, posteriormente decrece hasta el 2013, para recuperarse levemente en el periodo 2014-2016. El número de empresas y de acuerdos alcanzó su máximo el periodo previo a la crisis financiera, 2005-2007, alcanzando a las 12.000 firmas y 8.000 acuerdos respectivamente. Durante todo el período analizado el número de acuerdos por empresas se mantiene relativamente estables en torno a 1,5 acuerdos por firmas.

²⁰ Inversión minoritaria se refiere a la inversión en activos de otra firma, sin necesariamente existir traspaso del control de la compañía.

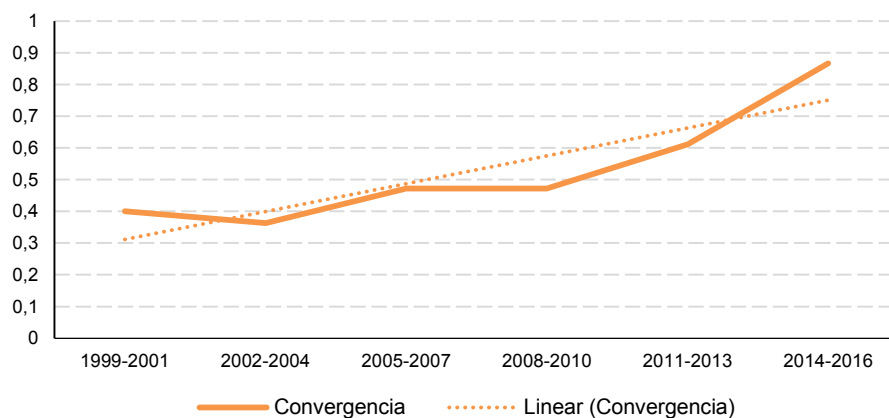
Grafico 3
Evolución de empresas y acuerdos de M&A



Fuente: elaboración propia.

En el grafico 4 se presenta una medida de convergencia del ecosistema de manufactura avanzada a partir del tipo de acuerdos de M&A. En este caso se presenta la evolución del logaritmo natural de la inversa multiplicativa de la “asortatividad” de sectores industriales. La “asortatividad” de los sectores, es decir es una medida que refleja que los acuerdos de M&A se realizan entre firmas de sectores distintos (véase anexo). La evolución del proceso de convergencia aumenta levemente en el periodo 2002-2007, para posteriormente aumentar más rápido en el periodo 2008-2013 y, a posteriormente acelerarse a partir del 2014.

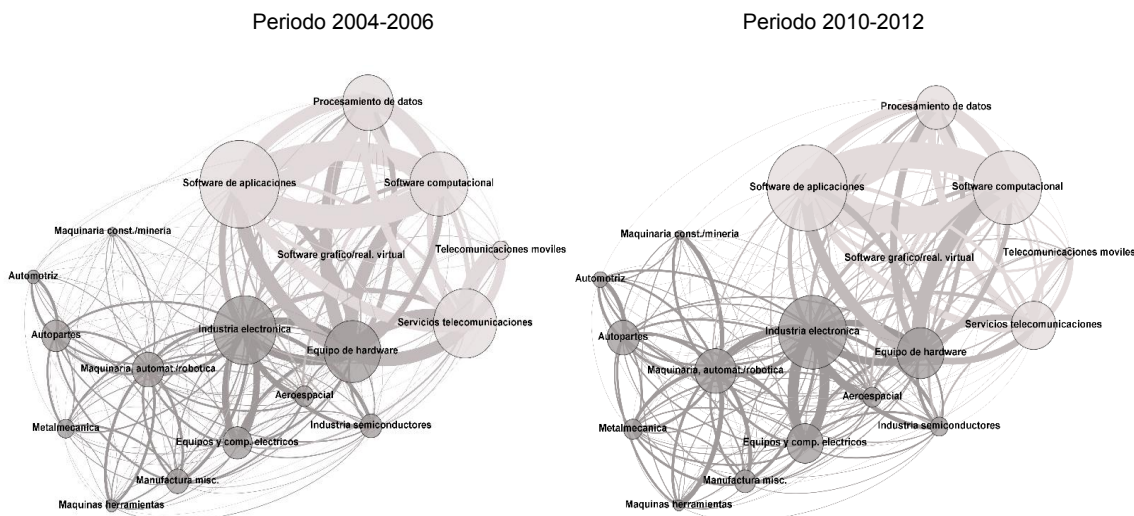
Grafico 4
Convergencia del ecosistema de manufactura avanzada



Fuente: elaboración propia.

En el diagrama 3, se muestra una visualización de la evolución estructural del proceso de convergencia en el ecosistema de la manufactura avanzada a nivel de sectores para los periodos 2004-2006 y 2010-2012. Estas figuras muestran un proceso de convergencia en todos los sectores del ecosistema de manufactura avanzada a partir de la década del 2000 que, de una fase temprana de convergencia durante los años 2004-2006, aumenta de intensidad después de crisis financiera a partir del año 2010. La creciente interdependencia entre los diversos sectores del ecosistema muestra algunas singularidades, destacando la centralidad de la industria de software que actúa como aglutinador del ecosistema junto con la industria electrónica, equipo de hardware, telecomunicaciones, maquinaria, automatización y robótica. Los sectores de maquinas y equipos comienzan a conectarse cada vez más entre ellos y con la industria electrónica y la automotriz.

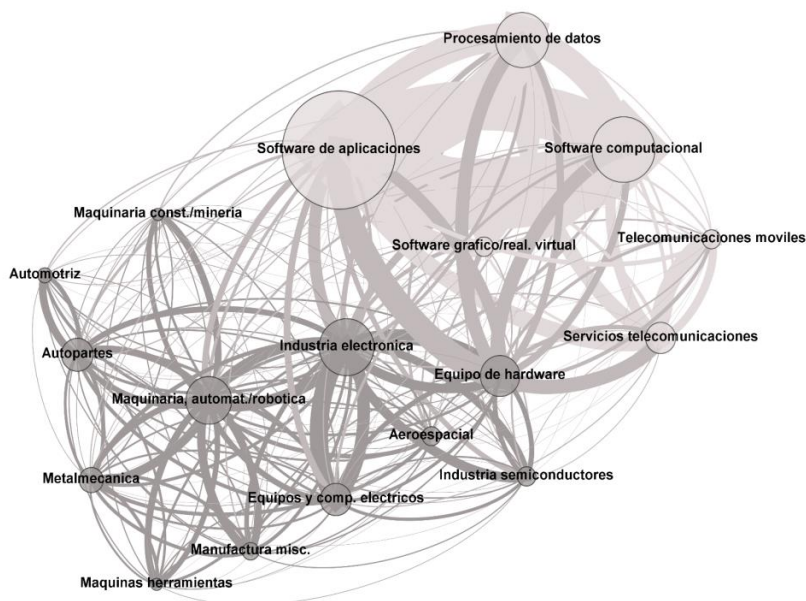
Diagrama 3
Aumento convergencia del ecosistema de manufactura avanzada



Fuente: elaboración propia.

En el diagrama 4 se presenta la visualización del avance de la convergencia del ecosistema. Las principales características de este proceso es el aumento de la densidad de las conexiones entre todos los sectores del ecosistema, la disminución de los acuerdos de las firmas en un mismo sector y la centralidad en las redes de convergencia entre cuatro núcleos tecnológicos principales: software/procesamiento de datos, electrónica/hardware, telecomunicaciones y maquinaria/equipos. Estos resultados muestran que dentro del ecosistema los servicios avanzados, principalmente software, han consolidado su proceso de convergencia, mientras que la manufactura avanzada todavía tienen un espacio para alcanza su etapa de madurez.

Diagrama 4
Convergencia acelerada del ecosistema de manufactura avanzada
(Periodo 2014-2016)



Fuente: elaboración propia.

III. Estrategias y plataformas

A. Gobernanza y estrategias

El desarrollo y el despliegue del ecosistema de manufactura avanzada ha tenido tres características principales: se ha desarrollado en el marco de la gobernanza de Internet de *multistakeholder*; ha sido liderado por consorcios de empresas internacionales especializadas en automatización industrial, hardware, software y telecomunicaciones; y su desarrollo ha estado localizado en países que cuentan con una visión geopolítica de las nuevas plataformas tecnológicas, un ecosistema digital e industrial sofisticado, y fuertes alianzas publico-privadas.

Ente las empresas del ecosistema se ha producido un gran impulso a las estrategias de M&A en nuevas tecnologías asociadas a la Internet Industrial tal como automatización, *hardware*, *software* y comunicaciones. Este proceso es el resultado de la necesidad de desarrollar nuevos productos y servicios que requieren de combinaciones de hardware, software, redes, almacenamiento de datos, análisis y tecnologías cognitivas.

Existe consenso entre los países desarrollados —principalmente Estados Unidos y los países de la Unión Europea— sobre un conjunto de principios de política en los ámbitos de la gobernanza de Internet, las plataformas digitales, la generación de estándares y las nuevas tecnologías de conectividad. Entre estos destacan, en primer lugar, la adhesión al modelo multistakeholder para la gobernanza de Internet y al marco de políticas que promueve la apertura, inversión e innovación; en segundo lugar, la inconveniencia de las regulaciones verticales a las plataformas digitales; en tercero, la necesidad de desarrollo de los estándares para la interoperabilidad mediante procesos voluntarios, consensuados y liderados por la industria; en cuarto lugar, la relevancia de la innovación asociada a la analítica de grandes datos, y finalmente, la importancia de las políticas de conectividad y los marcos regulatorios para incentivar la inversión y la innovación (US Department of State, 2016). En el caso de la Unión Europea, además, se prioriza la estrategia de mercado único digital, que requiere de políticas para abordar la fragmentación y las barreras de los mercados y la inversión en infraestructura digital y en nuevas tecnologías.

Las iniciativas emblemáticas en este campo están siendo implementadas por grandes empresas internacionales en una amplia gama de industrias —automatización industrial, redes de comunicación,

hardware y software— y por diversos gobiernos en Norteamérica, Europa y Asia (véase capítulo III.D). Es de especial importancia la constitución de consorcios privados que abordan diversos ámbitos de la Internet Industrial, identificando y compartiendo mejores prácticas, colaborando con los bancos de prueba, la investigación y desarrollo y la estandarización.

Ejemplos de consorcios, que colaboran en la resolución de temas de seguridad e interoperabilidad, en tecnologías de operación, información y comunicación, son: el Industrial Internet Consortium, Open Connectivity Foundation, OPC Foundation, M2M Alliance y Manufacturing Enterprise Solution Association. La mayoría de estos consorcios están constituidos por las principales corporaciones industriales y de tecnologías de información tales como GE, Dell, Microsoft, SAP, Cisco, HP, AT&T, IBM, Huawei, Intel, ARM, ABB, Siemens, Schneider, China Telecom, entre otros. En el cuadro 11 se presenta un resumen de los principales consorcios de Internet Industrial y una breve descripción de sus actividades.

Cuadro 11
Principales consorcios de Internet industrial

Programas	Responsable y <i>stakeholders</i>	Foco corporativo y sectorial	Desarrollo tecnológico	Estandarización
<i>Industrial Internet Consortium</i>	Grandes corporaciones	Manufactura, agricultura e infraestructura.	Mejores prácticas en interoperabilidad y banco de pruebas.	Guía de estandarización a través de bancos de prueba.
<i>The Open Connectivity Foundation</i>	Grandes empresas de TIC y de automatización industrial	Automotriz, electrónica, salud y smart home.	Requerimientos de conectividad entre dispositivos	Interoperabilidad para consumidores, negocios e industrias
OPC Foundation	Grandes empresas de automatización industrial.	Empresas manufactureras de tecnologías operacionales y de TIC	PLC protocolos, COM/DCOM y OPC Unified Architecture	Estándares de comunicaciones y la interoperabilidad para la automatización industrial
M2M Alliance	Empresas internacionales del automatización industrial y TIC	Promover las tecnologías y soluciones M2M	Seguridad en las telecomunicaciones en salud, entre vehículos y en <i>Smart Metering</i>	Estándares para tecnologías emergentes
<i>Manufacturing Enterprise Solution Association</i>	Empresas internacionales del automatización industrial y TIC	Optimización de operaciones	Manufactura, hardware, software y sistemas	Estándares para tecnologías emergentes

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de las instituciones.

Entre las estrategias corporativas más importantes de las empresas del ecosistema de manufactura avanzada, destacan cambios significativos en el portafolio de productos y servicios, a través de estrategias de reorganización digital (véase capítulo II.A) y los M&A para fortalecer sus habilidades digitales y tecnológicas. En el periodo reciente, aun en condiciones económicas de bajo crecimiento, se han dinamizado los M&A entre empresas del ecosistema, con el objetivo de agregar capacidades claves para la lograr funcionalidad de los productos y servicios en la nube, capacidades analíticas, inteligencia artificial y otras aplicaciones asociadas a la Internet Industrial. Como se vio en el capítulo II.D, la mayor cantidad de M&A se observa en la industria del software, sin embargo un gran número de empresas proveedoras de automatización industrial comienzan a realizar M&A en torno a activos críticos para la Internet Industrial (Control, 2016).

En el caso de la empresa GE que, con un contingente de 14.000 ingenieros de apoyo para sus operaciones digitales, ha comprado en los últimos años cuatro compañías para consolidar su negocio digital. La adquisición de GE del negocio de turbinas de Alstom es el mayor ejemplo de este fenómeno,

con GE pagando cerca de \$10 mil millones por la base instalada de las turbinas Alstom contactadas a través de la plataforma Predix de GE. Por su parte, Honeywell, compró una compañía israelí llamada Nextnine, para reforzar su negocio ofreciendo seguridad en Internet; Siemens, que cuenta con 21.000 ingenieros de *software*, ha invertido 15 mil millones de dólares en empresas de *software* estadounidenses desde 2007.

La adquisición de Pentair Valves and Controls por parte de Emerson Process Management es otro ejemplo de un proveedor de automatización que amplía su alcance en activos relacionados con la producción que hasta ahora tenían bajo nivel de conectividad. El acuerdo de Pentair se valoró en más de \$ 3 mil millones y consolida a Emerson como el proveedor de válvulas más grande del mercado, con el potencial de conectar y proporcionar diagnósticos inteligentes para un número significativo de válvulas. Emerson ya ha incorporado el monitoreo inalámbrico y la inteligencia en su serie de válvulas de alivio de presión Enardo.

Otros ejemplos destacados son: la empresa Yokogawa que aumentó sus capacidades a través de la adquisición de las empresas Industrial Evolution, para su nuevo modelo de datos en plantas industriales, y FogHorn Systems, para sus aplicaciones en *fog computing*; de Hewlett-Packard que, posterior a su división entre el negocio de tecnología de la información y el negocio de hardware e impresoras tridimensional, adquirió el negocio de impresoras de Samsung; la adquisición de Invensys Operations Management por Schneider Electric; y la adquisición por parte de ABB del fabricante especializado de muebles de sala de control CGM.

B. La cadena de valor de la internet industrial

La cadena de valor de la Internet industrial se diferencia de la Internet del consumo en dos factores principales: por un lado, requiere de altos niveles de coordinación e interoperabilidad entre sus componentes; y, por otro, tiene menores barreras al aprendizaje, entrada y desarrollo de productos y servicios.

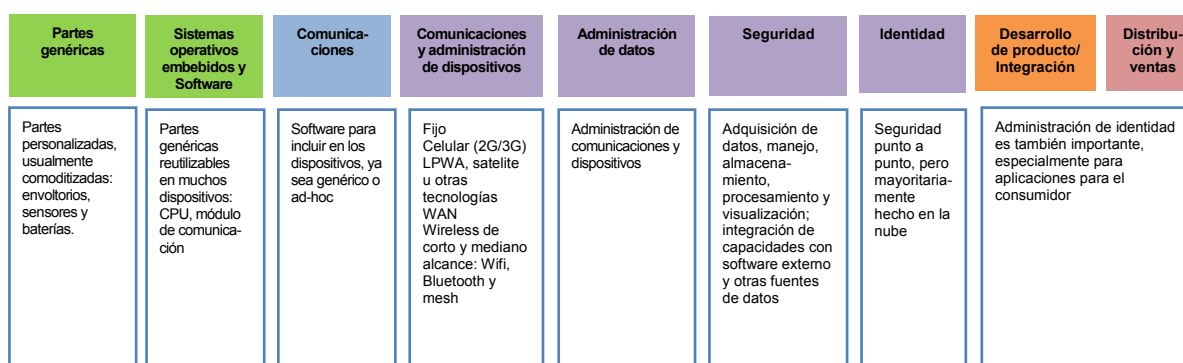
En la medida que se logren establecer nuevos estándares de comunicación se podrá abordar el ciclo completo de cualquier producto o servicio, desde el desarrollo e ingeniería, pasando por la manufactura, hasta el uso, mantenimiento y reciclaje. Esta cadena de valor tiene una mayor fragmentación y requiere mayores niveles de coordinación entre las empresas que integran los componentes de la cadena. Por ejemplo, las empresas de tecnologías de redes y servicios de cloud computing necesitan de los productores de objetos –dispositivos con sensores– tanto como estos requieren de ellas para desarrollar conjuntamente la industria de aplicaciones de software y hardware.

Por otra parte, la digitalización ha erosionado las barreras al aprendizaje y a la entrada de nuevos actores permitiendo abrir los mercados a nuevos fabricantes con menores requerimientos de infraestructura y recursos humanos. Los beneficios asociados a los nuevos modelos de servicios digitales —infraestructura, *hardware* y *software* como servicio— ha permitido la creación de no solo empresas de software sino también de *hardware*, reduciendo los requerimientos de inversión y capital de trabajo. En particular, los modelos de pago por uso permite el acceso a capacidades computacionales, los marketplace de profesionales free lance y consultores especializados permite acceder a un pool de programadores e ingenieros y los espacios de *coworking* es una alternativa de espacios compartidos. Además, la oferta de módulos de manufactura, con impresoras 3D y de circuitos integrados, ha acelerado la velocidad del diseño de prototipos y manufactura a pequeña escala. (Deloitte , 2015).

La cadena de valor de la Internet industrial tiene cuatro segmentos principales (véase el diagrama 5): dispositivos (partes y sistemas operativos), comunicaciones, plataformas habilitantes de aplicaciones (administración de comunicaciones, datos e identidad y seguridad) y desarrollo de productos e integración. El primer segmento corresponde a la manufactura electrónica de dispositivos con sensores para la captura de datos, es decir a la producción de sensores, MEMS, nodos, controladores y otros artefactos para obtener datos. El segundo es el de las redes de comunicación celular e inalámbrica, que corresponde al ámbito de los circuitos integrados y considera microprocesadores, chips y protocolos usados para la comunicación y procesar información. El tercer segmento está asociado al desarrollo de plataformas de software de gestión de comunicaciones y manejo de datos, y corresponde a la Internet

Industrial de diseño de sistemas de hardware y software para el monitoreo de sistemas, la analítica de datos y los protocolos de seguridad para el análisis y la respuesta de datos. Finalmente, el cuarto segmento corresponde a la integración de aplicaciones en industrias verticales, es decir, el diseño de aplicaciones, servicios y mantenimiento remoto y operado con interfaces de computación en la nube y API (DestinHaus, 2015).

Diagrama 5
Cadena de valor de la Internet industrial



Fuente: elaboración propia con base a DestinHaus, 2015.

A diferencia de la cadena de valor de la Internet del consumo, en este caso hay un mayor balance entre las fuerzas de concentración y desconcentración económica²¹. Las fuerzas que conducen a la concentración son las economías de escala y las economías de red asociadas a las plataformas de *software* en un número reducido de empresas. Las fuerzas que posibilitan la desconcentración están asociadas a las posibilidades de localización y la generación de mercados de nicho en el desarrollo de productos e integración en industrias verticales. En una situación intermedia de concentración se encuentra la manufactura electrónica de dispositivos, donde se prevé una fuerte competencia, destacando los dispositivos inteligentes, los sistemas de comunicación y el control de objetos.

Alrededor de 30% del crecimiento del mercado de la Internet industrial hacia 2020 provendrá del diseño, la manufactura y la venta de nuevos dispositivos (Norton, 2015). Los principales fabricantes están transformando los componentes de sus productos para hacerlos más inteligentes, interactivos y valiosos gracias a diversas innovaciones. Ejemplo de ello es el caso de Nest –adquirida recientemente por Google– en el área de termostatos, Philips en la de aplicaciones Bluetooth, Wifi y sensores de iluminación, y ThinFilm en la producción de etiquetas.

Entre los aspectos críticos de la evolución de la cadena de valor destacan las modalidades de comunicación y control que van a prevalecer en la industria. Considerando la multiplicidad de dispositivos con distintos sistemas que será necesario conectar, los proveedores de red deberán desarrollar soluciones de comunicación –basadas en sistemas Bluetooth y Wifi– que generen valor en la red y también en la parte *downstream* de la cadena²². En este contexto, las redes dominantes serán aquellas que logren proveer los sistemas más simples de operar y garanticen la seguridad y la privacidad de los datos. Una situación similar ocurre para las empresas que desarrollan tecnologías de control único para diversos dispositivos.

²¹ Las fuerzas que posibilitan la desconcentración están asociadas a las posibilidades de localización, personalización de productos y servicios y la generación de mercados de nicho en que las economías de escala pierden importancia. Esta dinámica permite desconcentrar las actividades de producción de bienes y servicios y abre oportunidades para los países de la región y las pequeñas empresas.

²² Por ejemplo, es lo que se encuentra haciendo la empresa Cisco, que utiliza servicios basados en *cloud computing* para conectar a los componentes de la cadena para diversas industrias –transporte, infraestructura, salud– y, simultáneamente, utiliza *cloud networks* para generar valor en otros componentes de la cadena.

C. Las plataformas de la manufactura avanzada

Además, la complejidad que implica el diseño de las plataformas tecnológicas actuales requiere una profunda experiencia en una amplia gama de áreas. Esto está causando una ola histórica no solo de M&A, sino también de colaboración entre diferentes industrias. Por ejemplo, las empresas de automoción y las empresas de tecnología han entrado en empresas conjuntas y asociaciones destinadas a equipar a los fabricantes de automóviles con la funcionalidad de auto-conducción, servicios y características. Muchas asociaciones también están enfocadas en la promulgación de plataformas de código abierto de vehículos conectados. La lista de estas asociaciones entre industrias es extensa y variada.

Otra estrategia importante que las empresas de tecnología están utilizando para obtener una ventaja implica la asociación con el fin de avanzar en un campo particular o la construcción de soluciones de cliente de extremo a extremo que aprovechar lo mejor de cada uno de sus activos y capacidades. Un caso en el punto es la sociedad recientemente lanzada entre IBM y Cisco. Centrado en el crecimiento de los ingresos en los campos emergentes como AI y IoT para compensar las ventas en declive en las áreas más tradicionales, el acuerdo aprovecha las capacidades analíticas cognitivas y de negocios de la plataforma IoT de Watson y la experiencia de Cisco en redes IoT hiperdistribuidas y análisis de borde.

Otro ejemplo de las empresas que trabajan en conjunto es la Asociación de Inteligencia Artificial (AI), que incluye compañías como Amazon, Google y Facebook. La asociación tiene como objetivo realizar investigaciones, organizar discusiones, compartir conocimientos y proporcionar liderazgo de pensamiento para avanzar en la comprensión de las tecnologías de IA, incluyendo la percepción de la máquina, el aprendizaje automático y el razonamiento automatizado.

En el caso de la industria manufacturera, las empresas más influyentes en la Internet industrial son Bosch, General Electric (GE), Hitachi Data System, Samsung y Siemens. En estas compañías –de reconocida reputación en la fabricación de maquinaria, equipos y dispositivos y líderes en automatización industrial– se realizan innovaciones tecnológicas para permitir, mediante aplicaciones de IoT, la conexión, el control y el monitoreo de dispositivos utilizando diversas plataformas en la nube. Ejemplo de ello son las plataformas Asset Performance Management y Predix desarrolladas por GE y Web of Systems, de Siemens. En la industria de hardware sobresalen INTEL y Dell, con el desarrollo de una nueva generación de procesadores y componentes de infraestructura para IoT, tales como Quark y Atom.

En el caso de empresas de redes de comunicación, tales como Cisco y Huawei, se han realizado avances en conectividad para la Internet de las cosas, servicios de computación en la nube y la analítica de datos. Entre los principales proveedores de servicios de cloud, almacenamiento y big data se encuentran Amazon Web Services (con Kinesis y DynamoDB), AT&T (con M2X), IBM (con Watson smart product), Microsoft (con Azure public cloud) y Oracle (con Hadoop database). Otra de las áreas de contribución de estas empresas es la provisión de recursos para fondos de capital de riesgo para nuevos emprendimientos, como lo hacen Cisco Investment, GE Ventures, Intel Capital, Qualcomm Ventures y Siemens Venture Capital (World Economic Forum, 2015; Butler, 2016).

D. Las estrategias de política de países líderes

En Estados Unidos, Europa y Asia, los gobiernos están promoviendo nuevos programas que, con diferentes modelos de intervención y de alianzas publico-privadas, están creando capacidades, plataformas e incentivos para la aplicación de la Internet industrial en sus respectivas economías. El denominador común es incrementar la competitividad internacional de la industria, liderar el ciclo de innovación de la Internet industrial y generar empleos de alta calificación. Para ejemplificar la relevancia de las políticas públicas en países desarrollados, a continuación se abordan los casos de Estados Unidos y Alemania, donde destacan las estrategias de mediano plazo en los ámbitos de la política industrial, recursos humanos, ciencia, tecnología e innovación y economía digital.

Cuadro 12
Principales iniciativas de Internet industrial

Programas	Responsable y <i>stakeholders</i>	Foco corporativo y sectorial	Desarrollo tecnológico	Estandarización
Estados Unidos: <i>Advance Manufacturing Partnership</i> , 2011	Grandes corporaciones: Allegheny, Caterpillar, Corning, Dow, Ford, Honeywell, Intel y J&J. Universidades: Stanford, Michigan, MIT, Berkeley y Georgia Tech. Agencias de gobierno: NIST, DoD, DoE, NSF y OSTP y laboratorios.	Empresas manufactureras, proveedores y empresas tecnológicas.	Iniciativas específicas: sensores y procesos de control, materiales avanzados, tecnologías de información, eficiencia energética, y nano manufactura.	Proporciona guía para organizaciones de estandarización.
Alemania: <i>Industry 4.0</i> , 2012	Gobierno Federal y sector académico Asociaciones industriales: Tecnologías de Información, Eléctrica y Electrónica e Ingeniería.	Empresas manufactureras con foco en pequeñas y medianas empresas.	Sistemas embebidos, automatización y robótica.	Desarrollo de estándares
China: <i>Internet Plus</i> , 2015	Consejo de Estado y Ministerio de Comercio.	Industria manufacturera, <i>retail</i> y <i>cloud</i> .	Nuevos modelos de innovación, manufactura, agricultura, energía, finanzas y logística.	Desarrollo de estándares
Japón: <i>Industrial Value Chain Initiative</i>	Grandes corporaciones, pequeñas y medianas empresas y sector académico.	Empresas manufactureras y de servicios que participan en cadenas de valor	Sistemas de producción ciber - físicos: digitalización de procesos, visualización, robots y manufactura flexible	Desarrollo de estándares a partir de banco de pruebas.

Fuente: elaboración propia con base a los antecedentes de las instituciones.

Estados Unidos es uno de los países con mayor inversión en la Internet industrial, con aplicaciones en industrias verticales –manufactura, retail, agricultura y salud–, áreas transversales –*smart cities*, *smart grids*, *connected cars* y *smart supply chains*– y bienes de consumo –*smart homes* y *wearables*. Entre las principales iniciativas de políticas públicas destacan los programas *Advance Manufacturing Partnership*, *Smart Cities Initiative* y la *Strategy for American Innovation*.

En 2011 se anunció la primera fase del *Advance Manufacturing Partnership*, una iniciativa conjunta entre la industria, las universidades, el gobierno y otros actores, que apunta a identificar tecnologías emergentes con potencial para crear empleos manufactureros de alta calidad y mejorar la competitividad de la industria. Entre las medidas más significativas destacan el lanzamiento, por parte del gobierno federal, del *Advanced Manufacturing Initiative for America's Future (AMI)* como un esfuerzo conjunto entre los departamentos de comercio, defensa y energía; la ampliación del crédito tributario para la I+D; el aumento de los presupuestos de las principales agencias de I+D²³ el fortalecimiento de la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, y la expansión de la oferta de los trabajadores extranjeros de alta especialización que puedan ser empleados por las empresas (*President's Council of Advisor on Science and Technology*, 2011).

Posteriormente, en 2013, se inició la segunda fase del programa con iniciativas más específicas y focalizadas que priorizan las áreas de innovación tecnológica, formación de recursos humanos y reformas de políticas (tributarias, de comercio y de energía)²⁴. Entre las medidas principales están la

²³ National Science Foundation, Department of Energy's Office of Science y National Institutes of Standards and Technology.

²⁴ El desarrollo de nuevas capacidades de investigación aplicada se complementa con otras medidas de estímulo a la industria, como los menores costos de energía asociados a la reforma energética, las medidas de protección comercial ante situaciones de dumping y las líneas de financiamiento con bajas tasas de interés.

creación de la estrategia National Advanced Manufacturing Strategy, el establecimiento de la National Network of Manufacturing Innovation Institutes, y la creación de centros de excelencia en manufactura (MCEs) y del banco de pruebas de manufactura tecnológica (MTTs). Además, destaca el desarrollo de procesos y estándares para la interoperabilidad de las tecnologías manufactureras, el fortalecimiento de la educación a nivel de los Community College, la promoción de sistemas de certificación de competencias laborales y la creación de fondos de inversión e incentivos tributarios para la inversión (President's Council of Advisor on Science and Technology, 2014).

En septiembre de 2015, el gobierno federal anunció la iniciativa Smart Cities que considera medidas para el desarrollo de la Internet industrial y bosqueja la inversión de nuevos recursos en I+D para abordar los desafíos de las comunidades en la reducción de la congestión vehicular, la lucha contra el crimen, el crecimiento económico, la gestión de los efectos del cambio climático y el mejoramiento en la entrega de los servicios públicos (The White House, 2015; New and Castro, 2015). En octubre del mismo año se lanzó la tercera versión de la Strategy for American Innovation, destacando el valor de las nuevas tecnologías, el rol del cloud computing, la integración de las TI con los objetos físicos mediante la Internet industrial, la analítica predictiva de grandes datos, el súper computo, los nuevos materiales y el almacenaje de energía. Además, en el documento se remarca el importante rol que por décadas ha desempeñado la inversión en I+D por parte de las agencias de gobierno (National Economic Council and Office of Science and Technology Policy, 2015).

La Internet industrial también ha sido uno de los principales focos del programa Industria 4.0 del gobierno federal de Alemania para modernizar su industria manufacturera. El programa comenzó en 2011, en alianza con diversos actores públicos y privados, y desde entonces se han destinado crecientes recursos para apoyar a la industria, a la academia y a los institutos de investigación para el desarrollo de una variedad de tecnologías de smart factory tales como sistemas embebidos de sensores, robots colaborativos, vehículos autónomos y plataformas de inteligencia artificial. El programa Industria 4.0 es liderado por los ministerios de economía e investigación y cuenta con una sólida alianza público-privada que incluye a representantes del gobierno, de asociaciones empresariales, sindicatos de trabajadores y la academia. Con ellos se organizan grupos de trabajo para abordar temas como la arquitectura y estandarización, la investigación y el desarrollo, la seguridad de redes de comunicación, el marco legal, el trabajo y la capacitación (The Economic Affairs Ministry, 2016).

Las bases y fundamentos del programa Industria 4.0 se encuentran, en primer lugar, en la High-Tech Strategy de 2006 y, posteriormente, en la High-Tech Strategy 2020, presentada en 2010. Esta estrategia busca alcanzar la excelencia en el desarrollo de sistemas ciberfísicos y soluciones de manufactura avanzada. La agenda de sistemas ciberfísicos tiene cuatro áreas de aplicación: energía (sistemas ciberfísicos para smart grids), movilidad (para redes móviles), salud (para telemedicina y diagnóstico remoto) e industria (para la industria y producción automatizada) (Germany Trade & Investment, 2015).

En este contexto, en el programa Industria 4.0 se ha elaborado una hoja de ruta para convertir al país en un proveedor líder de soluciones tecnológicas en cinco áreas claves: cambio climático y energía, salud y nutrición, movilidad, seguridad y comunicaciones. Estas estrategias son parte del enfoque de política industrial seguido por Alemania para generar y fortalecer capacidades industriales mediante la innovación en aquellas tecnologías relevantes para el país (ingeniería mecánica y construcción de plantas, tecnología de materiales, bio y nanotecnología, energía y medio ambiente, movilidad y logística, salud y tecnología médica y tecnologías de información).

Además, Industria 4.0 forma parte de uno de los siete ejes de la agenda digital lanzada en 2014, asociada a la digital economy and digital workplaces. Mediante dos programas tecnológicos —*autonomics for Industrie 4.0* y *smart service*— se proveen fondos para realizar investigación e innovación en este campo. El primer programa prioriza la realización de nuevas tareas de alta complejidad que pueden ser realizadas autónomamente por máquinas, servicios robotizados y otros sistemas y el segundo considera el desarrollo de soluciones basadas en agregación y analítica de grandes datos mediante sistemas inteligentes (The Federal Government, 2014).

IV. Conclusiones e implicancias de políticas

El desarrollo de un conjunto de tecnologías digitales disruptivas ha generado una transición desde la Internet del consumo hacia el ecosistema de manufactura avanzada, donde la nueva frontera de aplicaciones ha pasado de los dispositivos individuales a sistemas integrados de múltiples sensores interconectados. Esta nueva fase de la economía digital es consecuencia de la coevolución entre la Internet de las cosas (IoT) con las nuevas redes de conectividad, la computación en la nube (*cloud computing*), la analítica de grandes datos (*big data*), la manufactura aditiva (impresoras 3D), la robótica y los sistemas de inteligencia artificial.

La manufactura avanzada representa la próxima gran ola de innovación y se prevé que transformará profundamente los modelos de producción de toda la economía. La manufactura avanzada ofrece una oportunidad para contribuir a un crecimiento sostenible mediante la configuración de sistemas productivos más eficientes, diversificados y con baja emisión de carbono. Sin embargo, el ritmo de adopción de estas tecnologías es dispar a nivel internacional y, en consecuencia, constituye una nueva fuente de brecha digital entre empresas, países y regiones.

Para las empresas industriales de alto nivel tecnológico, los beneficios económicos asociados a la nueva manufactura son evidentes en términos de eficiencia y productividad. Sin embargo, la mayoría de las empresas industriales tradicionales enfrentan diversas barreras –infraestructura, tecnológicas, financieras y de gestión- que dificultan la incorporación de estas nuevas tecnologías. Para remover estos obstáculos se requieren políticas públicas que incentiven la inversión tecnológica en las empresas, el acceso y disponibilidad de proveedores tecnológicos y la formación de recursos humanos especializados²⁵.

Esta revolución tecnológica ocurre en medio de un creciente descontento por la globalización económica. Por una parte, están aquellos que pronostican la era del estancamiento secular de las economías, una creciente inequidad en los beneficios de la globalización y la sustitución de puestos de

²⁵ Esto requiere, en primer lugar, un marco de incentivos para promover la inversión e innovación en las empresas, en segundo lugar, el desarrollo de las plataformas de la Industria 4.0 y, en tercer lugar, apoyar a los trabajadores y las instituciones de educación y entrenamiento para adaptarse a una nueva era de automatización y mitigar el impacto en el desempleo. Esto requiere repensar la educación profesional y técnica, en términos de formación, habilidades y competencias para la automatización, y la política de reinserción laboral para los trabajadores desplazados (MGI, 2017).

trabajos por las nuevas tecnologías de automatización. Desde otra perspectiva están lo que sostienen que la innovación digital, mediante la creación destructiva, seguirá siendo una fuente de crecimiento de manera similar como lo fueron las tecnologías manufactureras en el siglo XX.

La experiencia internacional muestra que los países líderes están aprovechando las oportunidades de la manufactura avanzada con reformas, cuyo foco es la transformación productiva hacia una estructura de mayor productividad, sofisticación y diversidad. Para ello, se han implementado políticas industriales normativas guiadas por misión, que van más allá del enfoque de la teoría de fallas de mercado que ha prevalecido hasta ahora en la región. La transformación digital de la manufactura es un proceso complejo, requiere de una combinación de tecnologías de *hardware*, *software*, redes, almacenamiento de datos, analítica y tecnologías cognitivas. Esta complejidad ha llevado al desarrollo de nuevas plataformas tecnológicas que requieren de una nueva ola de colaboración de diferentes industrias.

La evolución del sector de manufactura avanzada a nivel internacional, se ha caracterizado por el proceso de convergencia tecnológica, consolidación de empresas líderes y emergencia de nuevas plataformas de Internet Industrial.

Por otra parte, se está constituyendo un nuevo ecosistema de manufactura avanzada como resultado de la convergencia de la industria de automatización industrial y el sector de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Entre las principales características de este ecosistema, destacan la disolución de las fronteras entre la manufactura y los servicios de TIC, el acortamiento de los ciclos de vida de los productos y un acercamiento geográfico entre las actividades de producción e innovación. Sin embargo, este proceso es de cobertura y escala acotada, pues la mayoría de las empresas industriales tradicionales enfrentan diversas barreras –infraestructura, tecnológicas, financieras y de gestión- que dificultan la incorporación y adaptación de estas nuevas tecnologías.

Por otro lado, se está consolidando una elite de empresas tecnológicas provenientes de la de grandes grupos de automatización industrial y de las TIC que están liderando y concentrando el proceso de nueva manufactura. A través de diversas estrategias corporativas de cooperación y adquisición entre empresas de los sectores manufactureros y del sector de TIC, se están transformando los modelos de fabricación y de coordinación con toda la cadena de valor de los productos. Sin embargo, a diferencia de la alta integración de la cadena de valor de la Internet del consumo, en la cadena de valor de la Internet Industrial existen mayores posibilidades de localización y generación de mercados de nicho asociados a industrias verticales.

Además, se están creando nuevas plataformas tecnológicas que, empoderadas por las tecnologías de la Internet Industrial, están conectando de manera flexible y segura productores y consumidores de manufactura avanzada. Se prevé que finalmente sobrevivan un número acotado de plataformas especializadas por industrias verticales, considerando que la automatización industrial aumenta tanto la complejidad como la vulnerabilidad de los sistemas y procesos, y por ello se requiere contar con plataformas seguras y robustas, que frente a eventos imprevistos minimice el riesgo de falla a gran escala. Por lo tanto, de manera similar como ha ocurrido con la concentración de plataformas digitales (empresas *over the top*), surgirán controversias regulatorias por su capacidad de dominar mercados y amenazar la competencia.

Finalmente, si bien la industria liderará esta transformación, las políticas públicas inteligentes también desempeñarán un papel crítico en la facilitación de la adopción y difusión de la manufactura avanzada. Además de los nuevos requerimientos de regulación, seguridad e impacto ambiental se requiere que la fuerza laboral cuente con las habilidades necesarias y que los pequeños fabricantes y las cadenas de suministro más amplias estén posicionados para adoptar las nuevas tecnologías.

Bibliografía

- ABB (2016), Annual Report 2016. Committed to unlocking value.
- Aragon, Edgar (2015), Aerospace Clusters and the German Dual Vocational System, Bertelsmann Stiftung, January.
- Banco Mundial (2016), Dividendos Digitales. Panorama general. Informe sobre desarrollo mundial 2016, Washington.
- Basole, R., Park H. and B. Barnett (2014), Coopetition and convergence in the ICT ecosystem, in Telecommunications policy 39.
- BCG-The Boston Consulting Group (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth In Manufacturing.
- Brady, D. (2016), Globalization and Political Instability, The American Interest, March.
- Butler, B (2016), Most powerful Internet of Things companies, Network World, April.
- CEPAL (2017), La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Cohen, Stephen S. and John Zysman (1987), Manufacturing Matters, New York.
- Control (2016), Positioned for recovery: Top 50 automation companies of 2015, by Larry O'Brien and Allen Avery.
- _____. Article, 2016, Positioned for recovery: Top 50 automation companies of 2015, by Larry O'Brien and Allen Avery.
- Costa, L. da F., Rodriguez F.A, Travieso, G. and P.R. Villasa Boas (2007), "Characterization of complex networks: A survey of measurements", Advances in Physics, vol. 56, No. 1.
- Deloitte (2015), The future of manufacturing. Making things in a changing world, Deloitte Center for the Edge.
- _____. (2016a), 2016 Global Manufacturing Competitiveness Index, Center for Industry Insights.
- _____. (2016b), 2017 Technology Industry Outlook.
- DestinHaus (2015), The Internet of Things Value Chain, electronic version, December.
- European Parliament (2016), Industry 4.0, Directorate General for Internal Policies.
- Evans, P. and A. Gawer (2016), The rise of the platform enterprise. A global survey, The Emerging Platform Economy Series, The Center for Global Enterprise, January.
- Financial Time (2016), The future of cities, FT special report, June 1.
- Foreign Affairs (2016), The world is flat. Surviving slow growth, Volume 95, Number 2, March/April.
- Frey, C. B. and Osborne. M. A. (2013), The future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? Oxford Martin School Working Paper n 7.
- Friedman, T. (2005), The World is Flat, A brief History of the Twenty-first Century, Farrar, Straus and Giroux.
- Gartner (2015), Gartner says 6.4 billion connected things will be in use in 2016, up to 30 percent from 2015, press release, November.

- Helper, S., Krueger, T. and H. Wial (2012), *Why Does Manufacturing Matter? Which Manufacturing Matters? A Policy Framework*, Brookings Institution, Washington.
- _____ (2012), *Why Does Manufacturing Matter? Which Manufacturing Matters? A Policy Framework*, Brookings Institution, Washington.
- Huawei (2015), *Connect where it counts. Mapping your transformation into a digital economy with GCI 2016*.
- IDC (2014), *Worldwide and Regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 Forecast: A Virtuous Circle of Proven Value and Demand*, Market Analysis.
- Industrial Internet Consortium (2016), *The Industrial Internet of Things, Volume B01: Business Strategy and Innovation Framework*.
- International Trade Administration (2015), *2016 Top Markets Report Industrial Automation*, US Department of Commerce.
- Kallstrom, H. (2015), *“Suppliers’ power is increasing in the automobile industry”*, *Investing in the automotive industry*, Market Realist.
- KPMG (2016), *Global Manufacturing Outlook 2016*.
- Kearney, M. Hershbein, B. and D. Boddy (2015), *The Future of Work in the Age of the Machine*, A Hamilton Project Framing Paper, February.
- Kissinger, H. (2016), *World Order*, Penguin Book Limited.
- Manyika, J and other (2012), *Manufacturing the Future: The next era of Growth and innovation*, McKinsey Global Institute, San Francisco.
- Muro, Rothwell, J., Andes, S., Fikri, K. and S. Kulkand (2015), *Americas’s Advanced Industries*, Brookings Institution, Washington.
- National Economic Council and Office of Science and Technology Policy (2015), *A Strategy for American Innovation*, October.
- New, J. and D. Castro (2015), *Why Countries Need National Strategies for the Internet of Things*, Center for Data Innovation, December.
- Norton, S. (2015), *Internet of Things Market to Reach \$1.7 Trillion by 2020: IDC*, *The Wall Street Journal*, June.
- OECD (2016), *Improving Networks and Services through Convergence*, 2016 Ministerial Meeting, *The Digital Economy*, June.
- _____ (2017), *The next production revolution. Implications for governments and business*, Paris.
- President’s Council of Advisor on Science and Technology (2014), *Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*, October
- President’s Council of Advisor on Science and Technology (2011), *Ensuring America’s Leadership in Advanced Manufacturing*, June.
- PWC (2014), *Industry 4.0. Opportunities and challenges of the industrial internet*.
- Roland Berger (2016). *The Industrie 4.0 transition quantified. How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model*.
- S&P Global (2017), *Industry Top trends 2017*, Standard & Poor’s Financial Services.
- Strategy Analytics (2017), *IOT reality: Market value less than \$ 0.5 T globally by 2025*, Strategy Analytics press releases.
- Surowieckijames, J. (2017), *Everybody Chill: Robots Won’t Take Ours Jobs*, *WIRED*, August.
- Tassej, G. (2014), *Competing in Advance Manufacturing: The Need for Improved Growth Models and Policies*, *Journal of Economic Perspectives*, Vol 28, number 1, Winter.
- The White House (2012), *Remarks by the President in State of the Union Address*.
- The Economic Affairs Ministry (2016), *Industrie 4.0: The Digitisation of the Economy*
- The Economist (2016a), *Lexington. The view from the rustbelt*, March 19th-25th.
- The Economist (2016b), *The return of the machinery question*, *Special Report Artificial Intelligence*, June.
- The Economist Intelligence Unit (2017), *Strong leader, tough decisions What China’s party congress means for economic policy*,
- The Federal Government (2014), *Digital Agenda 2014-2017*, August.
- The White House (2015), *Remarks by the President in State of the Union Address*.
- US Department of State (2016), *Joint Press Statement for the 2016 U.S.-European Union Information Society Dialogue*, Media Note Office of the Spokesperson Washington, DC, June (www.state.gov/r/pa/prs/ps/2016/06/259185.htm).
- World Economic Forum (2015), *Industrial Internet of Thing: Unleashing the potential of connected products and services*, *Industry Agenda*, January.
- World Economic Forum (2016), *The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*.

Anexo

Anexo

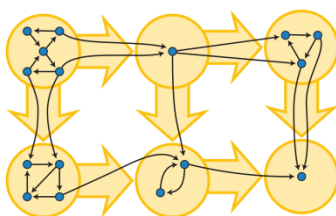
Medición de convergencia a partir de la teoría de grafos

Se denomina grafo a un conjunto de nodos -también llamados vértices o puntos- denotados regularmente por v_i , que están unidos mediante aristas -también arcos o líneas- generalmente denotadas por e_{ij} para una arista que va desde el nodo i al nodo j . Estas estructuras representan situaciones en que los elementos importantes son las relaciones entre los objetos y no necesariamente los objetos mismos. (Costa y otros, 2007).

Cuando dos nodos v_i y v_j tienen un arco e_{ij} que los une, se dice que esos nodos son adyacentes —o vecinos—. Si un grafo tiene algún nodo adyacente a sí mismo, se dice que tiene un *autoloops*. Por otro lado, cuando un grafo representa una relación con una dirección específica se dice que el grafo es dirigido y, en cambio, cuando la relación no tiene dirección se dice que el grafo es no dirigido. Se denomina grado de un nodo -o valencia- la cantidad de aristas incidentes que este tiene. En el caso de los grafos dirigidos, se distinguen entre los grados entrantes (*in-degree*) y salientes (*out-degree*), donde el grado de un nodo en particular se considera como la suma de los grados salientes y entrantes.

Un conjunto tiene una partición si existe un agrupamiento —de alguna manera en específica— de los elementos del conjunto en “cajones”. Así, el grafo G' es el grafo cuociente de un grafo G si sus vértices son los bloques formados por una partición de los vértices de G , y donde cada vértice de G' es adyacente a otro solamente si es que existen vértices adyacentes en G que pertenezcan a cada uno de los “cajones” correspondientes.

Diagrama A.1
Representación de un grafo cuociente



Para caracterizar el ecosistema de la manufactura avanzada se calcularon métricas de “asrtatividad”. Esta se refiere a una tendencia potencial de los vértices de un grafo de relacionarse -es decir ser adyacente- a otros vértices que sean similares en términos de una característica dada. En particular, la “asrtatividad” en términos del grado saliente de los nodos, permite recabar información sobre la direccionalidad de las adquisiciones y, además, en términos de la pertenencia al sector industrial, permite extraer información acerca de la concentración de las adquisiciones, ya sea intra o extra sectorial. El sentido de cada arista está dado por la curvatura y en concordancia con el sentido de las agujas del reloj.

Estas se calculan según el coeficiente de correlación de Pearson de la llamada “matriz de mixtura”, donde el tamaño del grafo se refiere al número de aristas que tiene un grafo, el orden del grafo se refiere al número de vértices que tiene un grafo y la densidad del grafo se refiere a la relación entre el número de aristas que tiene el grafo respecto al número de aristas potenciales que podría tener.

Esta última relación está definida por la siguiente ecuación, donde d es la densidad, m el número de aristas en el grafo, y n es el número de vértices

$$d = \frac{m}{n(n-1)}$$

Posterior a la obtención de estas métricas, se procedió a elaborar visualizaciones de las redes de fusiones y adquisiciones dentro del ecosistema de manufactura avanzada, con el objetivo de apreciar convergencias entre segmentos industriales y de servicios. Para posicionar los nodos en la visualización y facilitar su interpretación, se utilizaron los algoritmos incluidos en Gephi Force Atlas para su disposición espacial inicial y Noverlap y Label Adjust para los ajustes que eviten traslape entre nodos y entre etiquetas de los nodos respectivamente. Las herramientas de visualización utilizadas fueron el NetworkX para la administración y manipulación de los grafos y la Gephi 0.91 para la visualización de las redes. A través del proceso de visualización del ecosistema de la manufactura avanzada se obtuvieron diversos parámetros de análisis e interpretación, tal como se presenta en el cuadro.

Cuadro A.1
Parámetros de descripción de los grafos

Parámetros	Interpretación
Tamaño del nodo	Número de empresas que pertenecen a ese sector industrial.
Tamaño de etiqueta del nodo	Lo mismo que el tamaño del nodo. El tamaño de la etiqueta es proporcional al tamaño del nodo.
Grosor de la arista	Conteo de número de adquisiciones desde empresas de un sector industrial hacia el otro.
Color del nodo	Pertenencia a un cierto macro sector industrial en particular.

Fuente; elaboración propia.

La medida de —convergencia” de todo el sistema en cada período se construyó utilizando el logaritmo natural de la inversa multiplicativa de la —asortatividad” de sectores industriales. Es decir, si la “asortatividad” en un período t se define como a_t , entonces la medida c_t de convergencia para ese período es:

$$c_t = \ln(1/a_t)$$

Esto con el objetivo de dejar una medida más intuitiva, ya que 0 corresponde a una convergencia nula en el sistema —es decir, las relaciones son únicamente entre firmas de sectores— y es creciente en la medida que aumenta la proporción de relaciones intersectoriales.



NACIONES UNIDAS

Serie**CEPAL****Desarrollo Productivo****Números publicados****Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en****www.cepal.org/publicaciones**

217. El estado de la manufactura avanzada: competencia entre las plataformas de Internet industrial, Mario Castillo (LC/TS.2017/123), 2017.
216. Políticas para la atracción de inversión extranjera directa como impulsora de la creación de capacidades locales y del cambio estructural: el caso de México, Luz María de la Mora Sánchez (LC/TS.2017/122), 2017.
215. Bioeconomía en América Latina y el Caribe: contexto global y perspectivas, Adrián G. Rodríguez, Andrés O. Mondaini y Maureen A. Hitschfeld, (LC/TS.2017/96), 2017.
214. Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sistemas alimentarios sostenibles. Una propuesta para la formulación de políticas integradoras, Adrián G. Rodríguez (LC/TS.2017/89), 2017.
213. Las empresas manufactureras de cobre en Chile, Lilia Stubrin y Joaquín Gana, (LC/TS.2017/64), 2017.
212. Micro-macro interactions, growth and income distribution revisited, Mario Cimoli and Gabriel Porcile, (LC/TS.2017/55), 2017.
211. Políticas de desarrollo económico local en Chile. Más allá del asistencialismo, Felipe Correa y Marco Dini, (LC/TS.2017/45) 2017.
210. Modelos de gestión de centros tecnológicos sectoriales. Elementos de un análisis comparado, Marco Dini y Mattia Tassinari, (LC/TS.2017/44), 2017.
209. Gobiernos corporativos e inversión extranjera directa en América Latina: las fusiones y adquisiciones transfronterizas, Carolina Águila Jaramillo, Georgina Núñez Reyes y Marcelo Pereira Dolabella, (LC/TS.2017/41), 2017.
208. Chinese Investments in Latin America. Opportunities for growth and diversification, Miguel Pérez Ludeña (LC/TS.2017/18), 2017.
207. Pobreza, desigualdad y estructura productiva en ciudades: evidencia desde Chile usando datos de panel, Felipe Correa (LC/L.4271), 2016.
206. Pobreza y desigualdades rurales: perspectivas de género, juventud y mercado de trabajo, Sinduja Srinivasan y Adrián Rodríguez (LC/L.4206), 2016.
205. Premature deindustrialization in Latin America, Mario Castillo y Antonio Martins (LC/L.4183), 2016.
204. Transformaciones rurales y agricultura familiar en América Latina: una mirada a través de las encuestas de hogares, Adrián Rodríguez (LC/L.4168), 2016.
203. Encadenamientos productivos desde la minería de Chile, Felipe Correa Mautz (LC/L.4160), 2016.

DESARROLLO PRODUCTIVO



COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN
www.cepal.org