

Datos, algoritmos y políticas

La redefinición
del mundo digital



NACIONES UNIDAS

C E P A L



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



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



www.cepal.org/es/suscripciones

Datos, algoritmos y políticas

La redefinición
del mundo digital



NACIONES UNIDAS

C E P A L



POR UN DESARROLLO
SOSTENIBLE CON IGUALDAD

Alicia Bárcena
Secretaria Ejecutiva

Mario Cimoli
Secretario Ejecutivo Adjunto Interino

Raúl García-Buchaca
Secretario Ejecutivo Adjunto
para Administración y Análisis de Programas

Ricardo Pérez
Director de la División de Publicaciones y Servicios Web

Este documento fue coordinado por Mario Cimoli, Secretario Ejecutivo Adjunto Interino de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). En el equipo de redacción participaron Mario Castillo, Valeria Jordán, Jorge Patiño, Wilson Peres, Fernando Rojas, Sebastián Rovira y Nunzia Saporito.

Se agradece la colaboración de Georgina Núñez y Laura Poveda, funcionarias de la CEPAL, y los valiosos aportes de Julia de Furquim y Vittorio Frazzoni.

En cada capítulo se mencionan los consultores y colaboradores que participaron en su elaboración.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/CMSI.6/4
Dist.: Limitada
Copyright © Naciones Unidas, 2018
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.18-00053

Esta publicación debe citarse como: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Datos, algoritmos y políticas: la redefinición del mundo digital* (LC/CMSI.6/4), Santiago, 2018.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones@cepal.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

Prólogo.....	9
--------------	---

Introducción.....	13
-------------------	----

Capítulo I

La digitalización del mundo físico: la Internet de las cosas	23
A. La Internet de las cosas: la conexión del mundo físico con el mundo digital.....	25
B. El ecosistema de la Internet de las cosas	27
1. Dispositivos	28
2. Redes de comunicaciones	29
3. Plataformas de software y aplicaciones	36
C. Áreas de acción.....	39
1. Armonización de estándares e interoperabilidad	40
2. Transición hacia el protocolo IPv6 y los sistemas de numeración	40
3. Gestión del espectro radioeléctrico	40
4. La demanda del sector público como política de desarrollo de la Internet de las cosas.....	41
5. Políticas y regulación de la privacidad, la protección y el uso de datos	41
6. Políticas de seguridad	42
Bibliografía	42

Capítulo II

La cadena de bloques: la Internet de la confianza	45
A. Las cadenas de bloques y la computación descentralizada.....	47
1. Funcionamiento técnico.....	48
2. Gobernanza	51
3. La máquina virtual de Ethereum.....	53
4. Vínculos con el mundo físico.....	53
5. Redes públicas, privadas y de consorcios.....	54
6. Escalabilidad.....	54
B. Los nuevos recursos disruptivos	55
1. Características de los registros.....	55
2. El control del doble gasto	55
3. Bases de datos distribuidas y colaborativas en tiempo real	56
4. Los contratos inteligentes	57
5. Nuevos modelos de capitalización de las empresas	57
C. Una tecnología abierta para América Latina y el Caribe	59
Bibliografía	60

Capítulo III

Una economía y una sociedad basadas en plataformas digitales.....	61
Introducción.....	63
A. Definiciones	63
B. Tipologías	66
1. Clasificación del Center for Global Enterprise.....	66
2. Tipología de la Comisión Europea.....	68
3. Clasificación de Oxera.....	69
C. Caracterización de los ecosistemas.....	69
1. Plataformas de mercados digitales	71
2. Plataformas de medios sociales y contenidos	75
3. Servicios de búsqueda en Internet.....	76
4. Plataformas de publicidad digital.....	77
5. Plataformas de financiamiento	80
6. Plataformas de gestión de talento	81
7. Ecosistemas de servicios móviles y plataformas de distribución de aplicaciones	83
8. Plataformas digitales industriales.....	85
9. Plataformas de participación y servicios abiertos	86
D. Determinantes del desarrollo de los ecosistemas de plataformas.....	88
E. Recomendaciones de política	90
1. Condiciones habilitantes	90
2. Base de conocimiento	91
3. Marco normativo, regulatorio e institucional	91
4. Infraestructura tecnológica	92
5. Financiamiento	92
6. Talento y cultura emprendedora	92
Bibliografía	93

Capítulo IV

Formación de recursos humanos para el uso de tecnologías digitales en América Latina.....	95
A. La brecha de capital humano.....	97
B. Tecnologías digitales maduras y avanzadas	99
C. La situación en siete países latinoamericanos.....	101
D. Implicaciones de política pública.....	108
1. Promoción de la demanda	108
2. Fomento de la oferta de programas	110
Bibliografía	111
Anexo IV.A1	112

Capítulo V

Tecnologías financieras digitales para la inclusión, ¿qué piensan los países de la región?	125
A. Caracterización de las <i>fintech</i>	127
1. Ubicación en la cadena de valor de los servicios financieros	127
2. Potencial disruptivo	130
3. La dinámica reciente	131

B.	Soluciones para la inclusión financiera de las mipymes	133
1.	Acceso al financiamiento.....	133
2.	Nuevas propuestas de valor.....	134
C.	Regulación: eficiencia y estabilidad del sistema	136
1.	Factores de riesgo	136
2.	Modelos alternativos.....	136
3.	Condicionantes	137
D.	Percepción sobre las tecnologías financieras digitales en América Latina y el Caribe	138
1.	Impacto potencial	138
2.	Tratamiento normativo y regulatorio	139
3.	Oportunidades y riesgos de las nuevas tecnologías financieras digitales	141
E.	Conclusiones	143
	Bibliografía	143
	Anexo V.A1	145

Capítulo VI

Internet industrial para la manufactura avanzada.....	147
Introducción.....	149
A. Las bases tecnológicas	149
B. La cadena de valor	151
C. La manufactura avanzada	153
D. El impacto en la actividad manufacturera	153
E. La convergencia de la manufactura y los servicios	157
F. Conclusiones	161
Bibliografía	163
Anexo VI.A1	164

Capítulo VII

Inteligencia artificial para el desarrollo.....	167
A. La teoría	169
1. Actualidad y perspectivas	169
2. Arquitecturas de aprendizaje profundo.....	172
B. La práctica: inteligencia artificial para el desarrollo	176
1. Inteligencia a distancia	178
2. Inteligencia local	179
3. Realidad aumentada, virtual y duplicada.....	180
4. Realidad de grano fino (<i>fine-grained reality</i>)	180
C. El desarrollo económico y social ante la inteligencia artificial.....	181
1. Oportunidad: reutilización de la inteligencia artificial para aplicar inteligencia a distancia.....	181
2. Oportunidad: representación de la inteligencia artificial para la inteligencia local	181
3. Tensión: eficiencia global y diversidad local	182
4. Desafío: inteligencia artificial para el desarrollo en todos los países	182
Bibliografía	183

Cuadros

Cuadro I.1	Internet de las cosas: tecnologías de redes de acceso, según rango aproximado de alcance y usos.....	29
Cuadro I.2	Requisitos para el uso de Internet industrial	35
Cuadro II.1	Principio de código jurídico frente a principio de código de software.....	52
Cuadro III.1	Tipología de plataformas según la Comisión Europea.....	68
Cuadro III.2	Tipos de plataformas	70
Cuadro III.3	Principales plataformas digitales de comercio electrónico	73
Cuadro III.4	Principales plataformas digitales de servicios	74
Cuadro III.5	Principales plataformas digitales de pagos	75
Cuadro III.6	Principales plataformas de medios sociales y contenidos.....	76
Cuadro III.7	Principales plataformas generales de búsqueda en Internet.....	77
Cuadro III.8	Principales plataformas de publicidad digital	79
Cuadro III.9	Principales plataformas de financiamiento.....	81
Cuadro III.10	Plataformas digitales de gestión de talento	82
Cuadro III.11	Principales plataformas digitales de gestión de talento.....	83
Cuadro III.12	Principales ecosistemas móviles	84
Cuadro III.13	Ejemplos de plataformas de participación y servicios abiertos.....	87
Cuadro III.14	América Latina (6 países) y los Estados Unidos: barreras a la innovación digital.....	89
Cuadro IV.1	Digitalización: innovación tecnológica, adopción e impacto	100
Cuadro IV.2	Categorización de cursos	102
Cuadro IV.3	América Latina (7 países): cursos de formación en tecnologías digitales avanzadas, por área	105
Cuadro IV.4	América Latina (7 países): índice de cursos de tecnologías digitales avanzadas y matrícula universitaria	105
Cuadro IV.5	América Latina (7 países): profesores en programas de tecnologías digitales	106
Cuadro IV.6	América Latina (7 países): programas de posgrado en tecnologías digitales	106
Cuadro IV.7	América Latina (7 países): programas de posgrado en tecnologías digitales en las 20 universidades mejor posicionadas en la clasificación de cada país	107
Cuadro IV.A1.1	Argentina: ejemplos de programas ofrecidos en dos universidades	112
Cuadro IV.A1.2	Argentina: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales.....	113
Cuadro IV.A1.3	Argentina: estudiantes, nuevos inscriptos y egresados de títulos de pregrado y grado por disciplina, 2013	114
Cuadro IV.A1.4	Argentina: estudiantes, nuevos inscriptos y egresados de títulos de ingeniería en instituciones de gestión estatal, 2003, 2009 y 2013.....	115
Cuadro IV.A1.5	Brasil: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales	116
Cuadro IV.A1.6	Chile: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales	117
Cuadro IV.A1.7	Chile: estudiantes universitarios por disciplina, 2005-2016	118
Cuadro IV.A1.8	Chile: graduados de nivel terciario en ingeniería y ciencias.....	118
Cuadro IV.A1.9	Colombia: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales	119
Cuadro IV.A1.10	Colombia: estudiantes universitarios matriculados por disciplina, 2004-2016	120
Cuadro IV.A1.11	Colombia: graduados de nivel terciario en ingeniería y ciencias.....	120
Cuadro IV.A1.12	México: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales.....	121
Cuadro IV.A1.13	Perú: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales	122
Cuadro IV.A1.14	Uruguay: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales	123
Cuadro IV.A1.15	Uruguay: nuevos inscriptos y egresados por disciplina en la Universidad de la República, 2013-2014	124
Cuadro V.1	Efectos hacia 2025 de la disruptión de las nuevas tecnologías financieras digitales en cinco mercados minoristas	131
Cuadro V.2	América Latina (7 países): distribución de empresas de <i>fintech</i> , según segmento de actividad.....	133
Cuadro V.3	América Latina y el Caribe: países e instituciones que respondieron al cuestionario sobre el estado del marco normativo y regulatorio de la industria de <i>fintech</i>	138

Cuadro V.4	América Latina y el Caribe (11 países): intensidad del efecto esperado de la industria de <i>fintech</i> , según segmentos del mercado	139
Cuadro V.5	América Latina (8 países): normas adoptadas recientemente o proyectos normativos en curso para la regulación de actividades de <i>fintech</i>	140
Cuadro V.6	América Latina y el Caribe (11 países): segmentos de mercado regulados o que se espera regular en materia de <i>fintech</i>	141
Cuadro V.7	América Latina y el Caribe (11 países): grado de riesgo de la industria de <i>fintech</i>	142
Cuadro V.8	América Latina y el Caribe (11 países): percepción de oportunidades generadas por las <i>fintech</i>	142
Cuadro VI.1	Los tres pilares de la Internet industrial.....	150
Cuadro VI.2	Evolución de las tecnologías de automatización.....	150
Cuadro VI.3	Evolución de la fábrica digital.....	151
Cuadro VI.4	Cosas conectadas y gastos en Internet industrial, 2016 y 2020.....	155
Cuadro VI.A1.1	Principales sectores de manufactura avanzada	164
Cuadro VI.A1.2	Principales empresas de manufactura avanzada	165
Cuadro VI.A1.3	Principales sectores de servicios avanzados.....	165
Cuadro VI.A1.4	Principales empresas de servicios avanzados.....	166
Cuadro VII.1	Características de la inteligencia artificial (IA) para el desarrollo en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	177

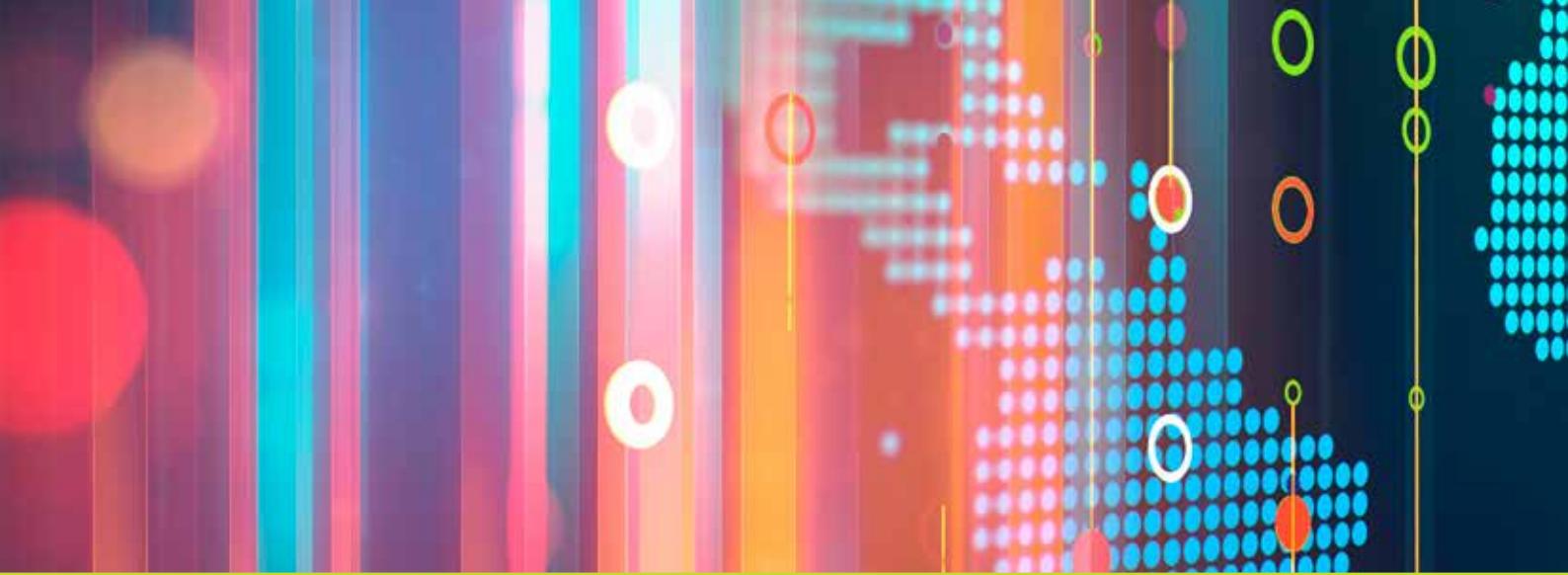
Gráficos

Gráfico I.1	Internet de las cosas: cuota del mercado mundial, según área de aplicación, 2017	27
Gráfico I.2	Internet de las cosas: tecnologías de acceso, según ancho de banda y alcance	31
Gráfico I.3	Estados Unidos: principales razones para no adoptar la Internet de las cosas en empresas.....	38
Gráfico IV.1	América Latina y el Caribe y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE): índice de desarrollo del ecosistema digital del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), 2015.....	97
Gráfico IV.2	América Latina: índice de digitalización e índice de capital humano, 2004-2014.....	98
Gráfico IV.3	América Latina (7 países): universidades que ofrecen programas formales de formación en tecnologías digitales.....	102
Gráfico IV.4	América Latina (7 países): programas formales de formación en tecnologías digitales.....	103
Gráfico IV.5	América Latina (7 países): programas formales y carreras cortas de formación en tecnologías digitales	104
Gráfico IV.6	América Latina (7 países): cursos de formación en tecnologías avanzadas	104
Gráfico IV.7	América Latina (7 países): correlación entre los programas formales de formación en tecnologías digitales por millón de habitantes y el subíndice de factores de producción del índice de desarrollo del ecosistema digital del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF).....	107
Gráfico IV.8	América Latina: evolución de la matrícula de educación superior, 1970-2014	109
Gráfico V.1	Inversiones mundiales en <i>fintech</i> , 2008-2020.....	132
Gráfico V.2	América Latina: iniciativas <i>fintech</i> , por segmentos, 2016	132
Gráfico V.3	América Latina y el Caribe (11 países): países donde se ha regulado o se espera regular las actividades de <i>fintech</i>	140
Gráfico VI.1	Evolución de las empresas y los acuerdos de fusión y adquisición, 1999-2016.....	158
Gráfico VI.2	Convergencia del ecosistema de la manufactura avanzada, 1999-2016	159

Diagramas

Diagrama I.1	Internet de las cosas: arquitectura del ecosistema	28
Diagrama I.2	Internet de las cosas: mercado de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN).....	32
Diagrama I.3	Despliegue de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN), según tecnología	34
Diagrama III.1	Tipos de plataformas según el Center for Global Enterprise	66
Diagrama III.2	Empresas de plataforma por región y tipo según el Center for Global Enterprise	68
Diagrama III.3	Principales tipos de plataformas digitales para empresas según Oxera	69
Diagrama III.4	Ecosistemas de las plataformas digitales.....	70

Diagrama III.5	Plataformas de mercados digitales	71
Diagrama III.6	Plataformas de medios sociales y contenidos	75
Diagrama III.7	Servicios de búsqueda en Internet	76
Diagrama III.8	Plataformas de publicidad digital	78
Diagrama III.9	Mapa de plataformas de publicidad digital	78
Diagrama III.10	Plataformas de financiamiento.....	80
Diagrama III.11	Plataformas de gestión de talento	82
Diagrama III.12	Ecosistemas móviles y plataformas de distribución de aplicaciones	84
Diagrama III.13	Plataformas digitales industriales.....	85
Diagrama III.14	Plataformas de participación y servicios abiertos.....	87
Diagrama IV.1	Olas de desarrollo tecnológico y etapas de la transformación productiva.....	100
Diagrama V.1	El sistema de <i>fintech</i>	128
Diagrama VI.1	Cadena de valor de la Internet industrial	152
Diagrama VI.2	Principales clústeres y países exportadores de nueva manufactura hacia 2020	156
Diagrama VI.3	Aumento de la convergencia del ecosistema de la manufactura avanzada.....	160
Diagrama VI.4	Convergencia acelerada del ecosistema de la manufactura avanzada, 2014-2016.....	161
Diagrama VII.1	Representación del reconocimiento facial mediante redes neuronales profundas.....	173
Diagrama VII.2	Arquitectura ilustrativa del aprendizaje multitarea o de transferencia.....	174
Diagrama VII.3	Conectividad compartida en una red convolucional.....	175



Prólogo

En los últimos tres años, desde la celebración de la Quinta Conferencia Ministerial sobre la Sociedad de la Información de América Latina y el Caribe, que tuvo lugar en Ciudad de México del 5 al 7 de agosto de 2015, han surgido con fuerza temas que, en aquel momento se consideraban solo emergentes o incluso de naturaleza académica. La aceleración de la revolución digital combina la implementación de trayectorias tecnológicas que están en plena expansión: la Internet de las cosas, las cadenas de bloques y la inteligencia artificial. Estas tecnologías se sustentan en plataformas digitales globales y afectan a la economía y la sociedad, tanto de manera transversal como sectorial. Esta nueva configuración va más allá del mundo digital de hace solo un decenio, cuando los temas cruciales para América Latina y el Caribe estaban centrados en el acceso a equipos (computadoras y teléfonos), las redes de conectividad fija y móvil, la expansión de la banda ancha y el esfuerzo por convencer a las autoridades sectoriales de la importancia de ubicar las tecnologías digitales en el centro de sus decisiones estratégicas. En esta nueva realidad de convergencia del mundo físico y el mundo digital se configura un ecosistema cuya dinámica y efectos económicos y sociales no están plenamente determinados. En este sentido, es un camino aún abierto.

En este libro se revisan tres conjuntos de temas: en primer lugar se describen esas trayectorias tecnológicas. En segundo lugar, se analizan dos elementos habilitantes de su uso: las plataformas digitales globales y la formación de recursos humanos calificados para operar tecnologías digitales avanzadas, sobre la base de información reciente correspondiente a siete países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Uruguay). Luego, se analiza el impacto de esas y otras tecnologías digitales en dos dimensiones verticales: la manufactura y los servicios avanzados, y las empresas de tecnología financiera digital (*fintech*); en estas últimas se presta especial atención a los servicios que pueden proveer a las empresas de menor tamaño, aumentando la inclusión financiera. Se concluye con el análisis de las implicancias de la inteligencia artificial para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En el presente libro se integran las ideas en las que ha hecho énfasis la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) a lo largo de su historia y, en particular, desde 2010, cuando inició su ciclo de propuestas de política pública para avanzar hacia economías y sociedades con una mayor igualdad basada en derechos. En el proceso de profundización de estas ideas, se ha resaltado el papel que pueden cumplir las tecnologías digitales en el apoyo a los países de América Latina y el Caribe en la implementación de una estrategia de gran impulso ambiental para lograr un cambio estructural con mayor diversificación productiva, sostenibilidad e igualdad.

En especial, la CEPAL ha destacado la importancia de las tecnologías digitales para la descarbonización de los patrones de producción y de consumo, en estrecha articulación con el manejo sostenible e inteligente de las ciudades, y la puesta en marcha de nuevas fuentes renovables de energía. La convergencia del mundo físico con el digital permite no solo aumentar la eficiencia de la asignación de recursos y la gestión económica, sino también incidir con fuerza en la transparencia y la participación ciudadana. Todo esto en un contexto en el que la digitalización reduce, o incluso elimina, las huellas de carbono y energética de nuestras sociedades. Por ello, en todos los capítulos del libro se concluye planteando recomendaciones de política para que los países de la región puedan apropiarse de esas tecnologías. En los casos pertinentes, se subraya la importancia de consolidar el logro institucional que implica la continuidad de la Agenda Digital para América Latina y el Caribe (eLAC) por más de un decenio, así como de continuar avanzando hacia un mercado digital regional.

La región está mejor preparada para esta revolución tecnológica que lo que estuvo en revoluciones previas, en las que importaba tecnologías maduras con estructuras de mercado totalmente consolidadas. Como se muestra en este libro, los avances en materia de la formación de capital humano en tecnologías digitales, incluso las más avanzadas, son importantes en la región; al mismo tiempo, se han dado significativos avances en materia de conectividad, particularmente mediante redes 3G y 4G. Pese a ello, el ritmo del cambio tecnológico obliga a redoblar esfuerzos en un mundo en que la competencia entre los líderes mundiales en tecnologías digitales se agudiza y en que la estructura empresarial se concentra en un pequeño número de

plataformas globales. En este contexto, la región debe aumentar su compromiso con el desarrollo de las tecnologías, incluso las avanzadas, y participar en el debate técnico y político sobre los nuevos estándares y modelos de negocios que están redefiniendo el patrón de desarrollo.

Así, temas presentes en la discusión desde hace años, como la seguridad y la privacidad de los datos y los aspectos políticos y éticos en su utilización, han pasado a tener un lugar predominante en el debate público. Asimismo, se ha agudizado el intercambio de opiniones sobre los regímenes fiscales y regulatorios para el mundo digital que se deben formular e implementar a nivel nacional, regional y global. Todo ello en un marco de discusiones y cambios en reglas de juego tan importantes como los vinculados a la neutralidad de red. En resumen, vivimos en un momento de toma de decisiones sobre la gobernanza no solo de la red, sino del conjunto del sistema económico y social permeado por la digitalización.

En este debate, la posición de la región debe ser clara: fortalecer las políticas para impulsar la innovación, la difusión y la apropiación de las nuevas tecnologías para avanzar hacia un nuevo modelo económico, social y ambiental que esté en consonancia con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Alicia Bárcena
Secretaria Ejecutiva
Comisión Económica para
América Latina y el Caribe (CEPAL)



Introducción

A. Un mundo en vertiginosa transformación

Desde 2015 se han sucedido cambios económicos, tecnológicos y geopolíticos que están transformando el escenario mundial y que tienen implicancias para el modelo de desarrollo. Luego de prácticamente una década de lento crecimiento económico desde la crisis financiera de 2008, por primera vez todas las grandes regiones de la economía global están creciendo, lo que está impulsando un mayor dinamismo en los países de la región. Sin embargo, existe una creciente incertidumbre sobre si el nuevo dinamismo se mantendrá en el largo plazo. Cuestionamientos sobre la globalización y sus efectos, en particular una desigualdad de ingresos cada vez mayor, además de la duda sobre el futuro de los grandes acuerdos comerciales multilaterales, provocan tensiones a nivel macroeconómico que coexisten con la aceleración de la revolución digital.

Esta trae consigo disruptiones que se materializan en innovaciones en los modelos de negocios y sistemas productivos, la reconfiguración de sectores económicos, las nuevas dinámicas en el mundo del trabajo, la oferta de bienes y servicios inteligentes y las nuevas condiciones de competitividad. Los Estados Unidos, China y algunos países de Europa Occidental están implementando estrategias para liderar las nuevas tecnologías y asegurar así su predominancia en la escena mundial. Cabe presumir que esta dinámica tendrá efectos en los flujos de inversiones y en la estructura productiva de los países, lo que repercutirá en el orden geopolítico prevaleciente en la nueva revolución industrial (CEPAL, 2018).

En efecto, la economía y la sociedad mundiales están cada vez más inmersas en la era digital, que se define por la convergencia de un conjunto de tecnologías emergentes cuya dinámica configura nuevos ecosistemas construidos sobre la infraestructura y las innovaciones de la revolución digital. La velocidad del cambio, producto de la naturaleza exponencial de los avances tecnológicos, la gran permeabilidad de las tecnologías digitales en todos los sectores e industrias, y su profunda capacidad de transformación de sistemas completos de producción, gestión y gobernanza, agregan oportunidades e incertidumbres a la dinámica del desarrollo (Schwab, 2016).

Una primera etapa del proceso de transformación digital es pasar de la Internet del consumo a la Internet de la producción. La digitalización reduce los costos marginales de producción y los de transacción, promueve innovaciones en bienes y servicios digitales, e impulsa el desarrollo de plataformas de consumo y de producción. Por ello, agrega valor mediante la incorporación de lo digital en bienes y servicios que, en principio, no son digitales (CEPAL, 2016). Los determinantes de la economía digital actual no son los mismos que los prevalecientes hace menos de una década. En un período relativamente corto, el centro de la atención y la innovación pasó de la conectividad móvil y la computación en la nube a los ecosistemas de la Internet de las cosas, el manejo de datos mediante la inteligencia artificial, la robótica y las cadenas de bloques (*blockchain*), cuyas aplicaciones mostrarán todo su potencial con las redes 5G.

Estos avances, que convergen rápidamente y se potencian unos a otros, profundizan el proceso de transformación. El actual contexto no es solo un mundo hiperinterconectado en sus esferas económicas y sociales, sino un mundo en el que se superponen o fusionan la economía tradicional —con sus sistemas organizativos, productivos y de gobernanza— y la economía digital —con sus particularidades innovadoras en cuanto a modelos de negocios, producción, organización empresarial y gobernanza—. Esto da lugar a un nuevo sistema digitalmente entrelazado en el que se integran modelos de ambas esferas que interactúan entre sí, dando lugar a ecosistemas más complejos que se encuentran en proceso de transformación organizativa, institucional y normativa con la premura que impone la velocidad de la revolución digital. En el corto plazo, es previsible que la convivencia de dos esquemas dé lugar a incertidumbres y fricciones en las áreas con mayor simbiosis.

La economía digital propiamente tal inició su desarrollo hace un par de décadas, con una dinámica caracterizada por la creación de bienes y servicios digitales y modelos de negocios en línea basados en plataformas de alcance global. Estos modelos, intensivos en el uso de datos, han ido creciendo rápidamente al punto que sus actores emblemáticos se han posicionado más allá de la industria digital. En la actualidad, estos lideran los mercados en cuanto a valor de capitalización a nivel global. En febrero de 2018, Apple tenía un valor de

mercado de 910.000 millones de dólares; Alphabet, 800.000 millones; Amazon, 702.000 millones; Microsoft, 699.000 millones; Facebook, 522.000 millones; Tencent, 520.000 millones, y Alibaba, 479.000 millones. Esta posición, que se deriva del crecimiento de las actividades de su núcleo de negocios original (equipos, software, publicidad y bienes y servicios digitales), ha permitido a estos nativos digitales diversificar sus ámbitos de actividad y trascender, sobre la base de sus conocimientos técnicos, a otros ámbitos como la infraestructura de comunicaciones, la computación en la nube, las actividades financieras, el comercio minorista, y los servicios, como los relacionados con la salud, permeando así sectores de la economía tradicional. En este universo, se observa el predominio de empresas de los Estados Unidos y China (véase el diagrama 1).

Diagrama 1

Ámbitos de acción de algunas de las empresas tecnológicas más importantes

Tecnologías de la información e infraestructura			Facebook Aquila project Terragraph	Apple SIM			
Inteligencia artificial			Jarvis				
Dispositivos de hardware				HomePod iPad			
Comunicación y mensajería							
Medios digitales y entretenimiento							
Automóviles conectados y movilidad electrónica			Messenger integration (transportation)			Tencent and Guangzhou: iSPACE concept auto	
Comercio electrónico y minorista						Association	
Fintech y pagos							
Navegación y servicios de localización							
Publicidad							
Cuidado de la salud		Project 1492	Genes for Good			Tencent Miying	
Ciudades inteligentes			Terragraph and Project ARIES		Xiongan new area- smart city project		ET City Brain

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Statista, *Digital Economy Compass 2017*, Hamburgo, 2017; *Digital Economy Compass 2018*, Hamburgo, 2018.

La expansión de estructuras productivas basadas en bienes inteligentes conectados (Porter y Heppelmann, 2014) y en ecosistemas de la Internet de las cosas, impulsa la creciente fusión entre la economía digital y la economía real o tradicional. Actualmente, las actividades en mayor proceso de transformación en cuanto al grado de digitalización de los productos y servicios ofrecidos, y al proceso de producción en sí, son la industria automotriz y el sector financiero. Hacia 2020, los sectores de la salud, las manufacturas, la agricultura, la minería, el transporte y la energía (ciudades inteligentes) serían los más afectados por la mayor digitalización de sus actividades (CEPAL, 2018). Para ello, sus empresas siguen dos estrategias

complementarias. Por un lado, desarrollan capacidades digitales propias e incluso pueden transformarse en prestadores de servicios digitales. Por otro lado, mediante fusiones y adquisiciones y alianzas estratégicas con las plataformas globales adquieren capacidades que les permiten adecuar su oferta a las demandas de la nueva era¹. Con ello, los límites entre las industrias tradicionales se van desdibujando, lo que presenta desafíos en la medida que los actores tradicionales enfrentan nuevos competidores, entornos con nuevas reglas y modos de operar, sistemas de producción “digitalmente más intensivos”, todo lo cual exige nuevas capacidades técnicas, productivas y de gestión. Asimismo, se han desarrollado plataformas digitales que operan en la intermediación de servicios como los de transporte urbano, turismo y hotelería, dando lugar a una fusión entre la economía de encargo (*gig economy*) y la economía colaborativa (*sharing economy*).

Así, en pocos años, la interacción e integración de la economía tradicional y la digital han aumentado, no solo por la permeabilidad transversal de estas tecnologías en los procesos de producción que generan efectos directos relacionados con una mayor eficiencia, sino también por efectos indirectos con impacto sistémico. Esta convergencia está cambiando los límites de los mercados e industrias, modificando las reglas de juego, afectando la competencia y desafiando los modelos regulatorios.

La digitalización está permeando transversalmente el conjunto de la economía con tal intensidad que crea nuevas fuentes de valor. Se dice que los datos son el nuevo petróleo, en el sentido de que son el alimento de las tecnologías disruptivas de la economía actual (The Economist, 2017). Pero, los datos tienen características propias y los efectos de su utilización no son similares: son reproducibles y de uso no rival, tienen costos marginales y de transporte cercanos a cero, tienen rendimientos crecientes a escala (a más información, más precisión de los algoritmos predictivos y de aprendizaje), e involucran aspectos de privacidad y seguridad. En este sentido, parecería que no hay un claro entendimiento del “poder” de los datos, ni por parte de los consumidores, que están dispuestos a entregarlos para recibir gratuitamente un servicio en línea, ni por parte de muchas empresas que no gestionan eficaz y eficientemente la información que poseen, ni por parte de los gobiernos que son sorprendidos por nuevos modelos de negocios que desafían las normas existentes.

Esto plantea retos en materia de política de competencia², fiscalidad³, privacidad y seguridad⁴, y equidad en lo que se refiere al acceso a recursos clave de la nueva economía. Se está iniciando un debate respecto de los aspectos regulatorios en estos ámbitos, y se están abordando los estándares tecnológicos y temas de comercio y propiedad intelectual. Por ejemplo, las medidas comerciales impuestas por los Estados Unidos a la importación de aluminio y acero de China en marzo de 2018 con el argumento de existen prácticas injustas, podrían ser el preludio de un problema mayor ligado a la apropiación de las tecnologías que están impulsando el futuro de la economía global (Dwoskin, 2018). Algunas empresas estadounidenses han planteado su preocupación por las normas chinas aplicadas a las empresas conjuntas (*joint ventures*) establecidas con empresas extranjeras que disponen la transferencia de habilidades o tecnología valiosas. Por ello, además de inquietudes por razones de seguridad nacional, es posible que, en una escalada de acciones, se tomen medidas en materia de inversiones ligadas a la tecnología (Swanson, 2018).

A lo complejo del tema debe agregarse la necesidad de coordinación internacional para lograr una mínima coherencia al tratarse de asuntos que trascienden límites geográficos. Así, la convergencia entre el mundo

¹ Por ejemplo, en comparación con el período 2011-2015 en el que la adquisición de compañías vinculadas a inteligencia artificial era realizada principalmente por las grandes empresas tecnológicas, entre 2016-2017 la gama de compradores se diversificó a empresas de otros sectores, como Ford Motor Company y General Electric (IDG Connect, 2018).

² En los Estados Unidos hay preocupación sobre la concentración de mercado y se están evaluando criterios de autorización de fusiones y adquisiciones, que incluyen el análisis del impacto de sus operaciones. También se analizan mecanismos de mayor control sobre la seguridad y privacidad de los datos.

³ En Europa se anunció que a finales de 2018 se presentará una propuesta para establecer normas comunes en materia de fiscalidad de la economía digital (Comisión Europea, 2017). Paralelamente, los ministros de finanzas de varias economías de la Unión Europea pidieron una reforma fiscal que considere la imposición allí donde se generan los ingresos y no donde se registran las ganancias (Europost, 2017).

⁴ La Unión Europea estableció el Reglamento General de Protección de Datos que entrará en vigor el 25 de mayo de 2018, con el objetivo de reforzar la protección de los derechos de las personas e igualar las condiciones de todas las empresas que operan en el mercado de la UE. El Reglamento exige que las empresas con sede fuera de la Unión Europea apliquen las mismas normas que las empresas establecidas en su territorio si ofrecen bienes y servicios relacionados con datos de carácter personal o si realizan un seguimiento del comportamiento de las personas en la Unión.

digital y el mundo real, en la medida que se generaliza, hace que los efectos de la revolución digital afecten la asignación de recursos, las relaciones laborales, y la estructura social y de poder. Estos efectos obligan a reconsiderar el alcance del concepto de desarrollo económico y de las políticas para promoverlo.

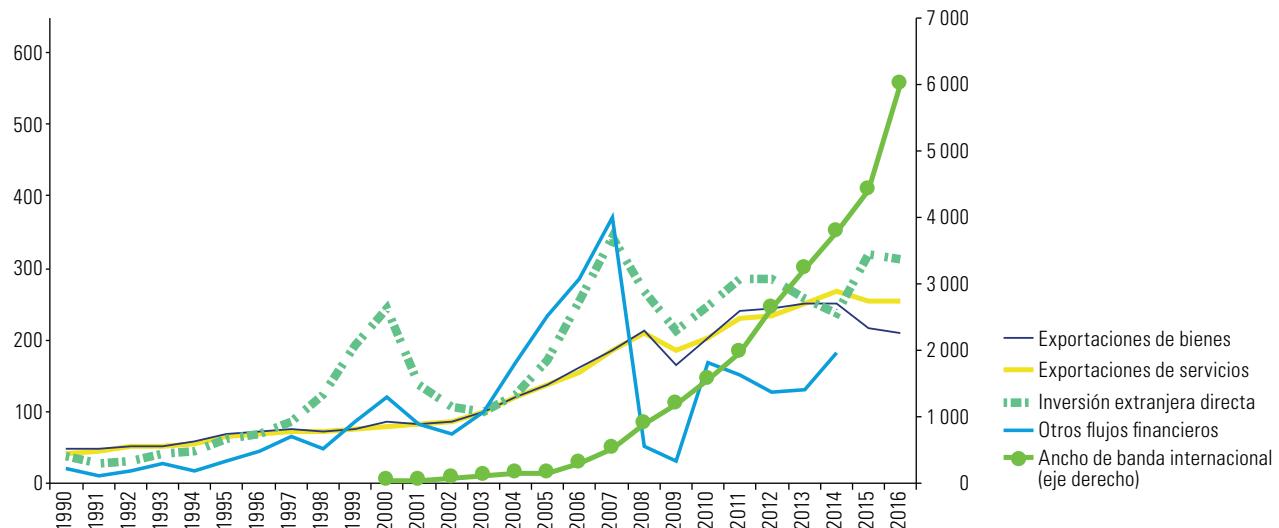
B. Aceleración y rápida difusión del progreso tecnológico

Las tecnologías digitales son cada vez más rápidas, más potentes y más asequibles, y convergen entre sí de forma más innovadora para ampliar su potencial. En las últimas tres décadas, el círculo virtuoso de avances tecnológicos se ha convertido en un motor central del crecimiento económico global y su importancia está creciendo. En 2016 el componente digital alcanzó el 15,5% de la economía global, y su tasa de crecimiento duplica a la de esta última. Para 2025 se espera que esa cifra supere el 24%, lo que implica que la economía digital tendría un valor cercano a los 23 billones de dólares (Huawei Technologies/Oxford Economics, 2017).

El dinamismo de la digitalización queda en evidencia al observar el crecimiento exponencial que ha tenido desde 2007 la capacidad de ancho de banda internacional⁵, en un contexto en que los flujos internacionales de comercio de bienes y servicios, de inversión extranjera directa y de financiamiento tuvieron fuertes fluctuaciones debido a los efectos de la crisis financiera mundial. La expansión digital, basada en el aumento de las capacidades de cómputo, almacenamiento y transmisión, no fue afectada por los problemas que incidieron en variables tradicionales de desempeño económico (véase el gráfico 1).

Gráfico 1

Flujos mundiales de comercio de bienes y servicios, inversión extranjera directa, otros flujos financieros y capacidad de tráfico internacional de Internet, 1990-2016
(índice 2003=100)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Fondo Monetario Internacional (FMI), Organización Mundial del Comercio (OMC) y Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La rápida difusión de las tecnologías digitales se manifiesta en múltiples indicadores. Además de los vinculados a los tradicionales temas de conectividad, como al acceso a Internet y el uso de las tecnologías móviles, se agregan los que dan cuenta del surgimiento y avance de innovaciones más recientes, como la masificación de teléfonos inteligentes (*smartphones*), la intensidad del uso de redes sociales y de aplicaciones

⁵ El ancho de banda internacional es la cantidad máxima de transmisión de datos de un país al resto del mundo (UIT, 2010).

móviles, el avance de la Internet de las cosas, la adopción de cadenas de bloques (*blockchain*) y el uso de la inteligencia artificial.

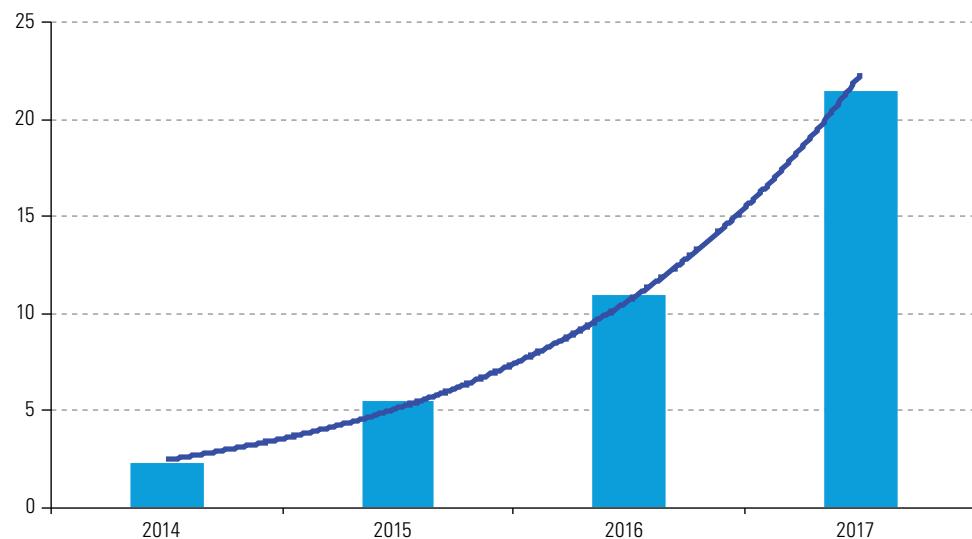
En 2017, cerca de 4.000 millones de personas, más de la mitad de la población mundial, utilizaba Internet, y un 56% lo hacía con suscripciones a servicios móviles (UIT, 2018). A principios de 2018 se registraban más de 5.000 millones de usuarios únicos de telefonía móvil, lo que representaba una tasa de penetración del 66% de la población mundial; de estas conexiones, el 57% utilizaba teléfonos inteligentes. Por otra parte, el 61% de las suscripciones móviles operaban sobre redes 3G o 4G (GSMA, 2018).

El ritmo de expansión del uso de aplicaciones se ha acelerado y el tiempo para alcanzar los 100 millones de usuarios se ha reducido de varios años a un mes en los casos más dinámicos. En 2017, se descargaron 175.000 millones de aplicaciones y se usaban activamente alrededor de 40 en cada teléfono inteligente, para lo que el usuario promedio destinaba cerca de tres horas al día (App Annie, 2018). En enero de 2018, más de 3.000 millones de personas usaban mensualmente las redes sociales, especialmente mediante dispositivos móviles (el 42% de la población mundial). En tanto, el uso de plataformas de comercio electrónico para comprar bienes de consumo creció hasta alcanzar los 1.800 millones de compradores en línea a nivel mundial (un 23% de la población) (Kemp, 2018).

Entre las nuevas tecnologías que están impulsando la digitalización, la Internet de las cosas es una de las que se prevé tendrá mayor impacto transversal, tanto en el desarrollo de bienes y servicios para los consumidores como para usos productivos. En 2017 se estimaba que a nivel mundial había alrededor de 8.000 millones de unidades instaladas de la Internet de las cosas, de las cuales el 63% correspondía a soluciones de consumo personal, como domótica, tecnologías ponibles (*wearable technologies*) o autos conectados, en tanto que el restante 37% se repartía en soluciones transversales y para sectores específicos (Gartner, 2017). Al mismo tiempo, la adopción de las cadenas de bloques muestra un aumento exponencial (véase el gráfico 2). Una vez que se alcanzó un mínimo de 2 millones de usuarios de monederos (*blockchain wallets*) entre 2011 y 2014, su crecimiento se aceleró, superando los 21,5 millones a finales de 2017.

Gráfico 2

Número de usuarios de monederos de cadenas de bloques, 2014-2017
(En millones de personas)



Fuente: Statista, sobre la base de Blockchain Luxembourg S.A. [en línea] <https://blockchain.info/>.

Así, las tecnologías digitales se extienden mucho más rápidamente que las de la era industrial, y su difusión también es más acelerada. Por ejemplo, hacia 1930 un 60% de la población de los Estados Unidos tenía acceso a energía eléctrica, en tanto que para muchos países de América Latina, en particular los de menor desarrollo, tal grado de difusión recién fue posible en la década de 1980. En cuanto a la telefonía fija, el 25% de los hogares de los Estados Unidos tuvieron acceso 76 años antes que el 25% de los hogares de los países de la región. Estos rezagos han disminuido significativamente en la era digital: que los usuarios de Internet llegaran al 25% de la población de la región llevó solo nueve años más que en los Estados Unidos⁶. La cifra correspondiente a telefonía móvil fue de siete años, para teléfonos inteligentes (*smartphones*) tres años, y tan solo un año para la utilización de tecnologías financieras digitales (*fintech*) por los usuarios en línea en algunos países.

En este sentido, si bien continúa existiendo una brecha de acceso a las tecnologías digitales en los países de la región, y es necesario continuar con los esfuerzos para su reducción, en la presente ola tecnológica no se dan rezagos tan amplios como en los paradigmas tecnológicos anteriores. Esto ofrece una oportunidad para el desarrollo de sectores basados en la producción de bienes y servicios intangibles y vuelve imperativo el fomento de la innovación y la asequibilidad de las nuevas tecnologías, así como el desarrollo de capacidades adecuadas. Para ello es preciso fortalecer la complementariedad sistémica institucional a fin de lograr una eficaz coordinación de políticas y asignación de recursos.

Los países de América Latina están avanzando rápidamente en la adopción de las nuevas tecnologías. En 2017, en la región había 400 millones de conexiones celulares y no celulares de la Internet de las cosas, lo que implica que se quintuplicó a partir de 2010 (GSMA, 2018). El 7% de los desarrolladores de soluciones de Internet de las cosas se encuentran en países de la región, lo que está en consonancia con su peso en la economía global. Al mismo tiempo, la expansión de la minería de cadenas de bloques se ha generalizado en diversos países, generalmente los más grandes.

Por su parte, la inversión internacional en empresas tecnológicas emergentes (*start-up*) de la región se ha duplicado con creces desde 2013. En 2017, 25 nuevos inversionistas ingresaron a la región, entre los que figuran SoftBank Group, Didi Chuxing y The Rise Fund de la empresa TPG, que gestiona fondos por más de 1.000 millones de dólares. Asimismo, inversores corporativos mundiales, como Naspers, American Express Ventures, FEMSA Comercio y Qualcomm Ventures, están realizando algunas de las mayores inversiones en áreas como las de transporte y logística, y tecnologías digitales para agricultura (*agtech*). Algunos de los nombres más importantes de Silicon Valley están activos en América Latina, incluidos Andreessen Horowitz, Accel, Founders Fund, Sequoia Capital e Y Combinator. Estos actores están invirtiendo en actividades de financiamiento, principalmente en el Brasil, México y Colombia (LAVCA, 2018).

La importancia de las nuevas iniciativas se muestra claramente en el hecho de que ocho de las nueve empresas unicornio con base en la región centran su modelo de negocios en las tecnologías digitales: Mercado Libre, Despegar, Globant y OLX Group (en la Argentina), B2W Digital Company y TOTVS (en el Brasil) y KIO Networks y Softtek (en México) (Arrieta y otros, 2017).

Las innovaciones exponenciales se dan en diversos sectores; en el último año, la expansión de las empresas de *fintech* y el uso de criptomonedas han llevado la delantera. Esta tendencia se da de la misma manera en todo el mundo, por ello muchos países intentan definir cómo aprovechar sus ventajas y minimizar los riesgos. En la región, el Brasil es el país con más sitios de intercambio con criptomonedas, la Argentina lidera en cuanto a número de empresas y México registra el mayor volumen de intercambio de monedas digitales. En esa industria, 2017 fue el año de las ofertas iniciales de criptomoneda (*initial coin offering (ICO)*) y 2018 apunta a ser el de la regulación. En este aspecto, México lidera en la región, ya que el 1 de marzo de 2018 aprobó la Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera, que procura normar la provisión de servicios financieros como los pagos electrónicos, el financiamiento colectivo (*crowdfunding*) y los activos virtuales. Para su aplicación es preciso actualizar otras nueve leyes, incluidas la Ley Federal para la Prevención e Identificación de Operaciones con Recursos de Procedencia Ilícita. Con esta normativa, el Banco de México pasa a ser el encargado de autorizar activos virtuales que puedan servir como medios de pago en plataformas de *fintech*.

⁶ En todos los casos (excepto en el de las *fintech*) la cantidad de años corresponde a una tasa de penetración del 25% de la población.

Además, existen diversas iniciativas para avanzar en materia de la Internet de las cosas. Destacan, por una parte, los programas estratégicos de especialización inteligente impulsados por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) de Chile en las áreas de minería de alta ley, alimentos saludables e industria inteligente entre un total de 11 sectores. Por otra parte, el Gobierno de Brasil dio a conocer en octubre de 2017 su Informe de Plan de Acción (*Relatório do Plano de Ação*), en el que se resalta la oportunidad única que representa la Internet de las cosas y se seleccionan cuatro focos acción: ciudades inteligentes, salud, agricultura e industria. Sobre la base de tres proyectos movilizadores (ecosistema de innovación, observatorio de la Internet de las cosas y la Internet de las cosas en las ciudades), su objetivo final es un futuro más competitivo, con cadenas productivas más robustas y mejor calidad de vida de la población.

A los desarrollos tecnológicos se agrega una reconfiguración radical de la estructura empresarial. Se consolidan plataformas digitales globales cuyas actividades dominan el universo en línea y también tienen un creciente impacto en el universo analógico. Aún es temprano para prever la dinámica de esta nueva estructura empresarial y la respuesta que recibirán los gobiernos en temas regulatorios (seguridad, privacidad) y fiscales. Esto aumenta también la incertidumbre global, en la medida en que esas plataformas son los agentes más dinámicos en materia de inversión y oferta de bienes y servicios digitales, y que sus acciones pueden contradecir las normativas nacionales.

C. Una gobernanza objeto de debate

La reciente agudización de las controversias sobre la privacidad de los datos personales ha llevado a que se retome con fuerza la discusión sobre la regulación de las plataformas, en particular su manejo de los datos personales. Dada, además, la importancia de esos datos para el aprendizaje de máquina y el desarrollo de la inteligencia artificial, su regulación tendría efectos no solo en el modelo de negocios de las plataformas, sino también en las variables que afectarían el equilibrio social (por ejemplo, las elecciones) o el equilibrio político internacional (por ejemplo, las armas autónomas). A estos problemas para las plataformas, se suman temas impositivos y de competencia, así como sus posibles efectos en materia de cantidad y calidad de los puestos de trabajo.

Así, el uso de los datos mediante algoritmos cada vez más poderosos redefine no solo al mundo digital, sino que exige nuevas políticas que operen en una estructura de gobernanza adecuada a las nuevas realidades. El contexto legal del mundo digital está al menos en discusión, como muestra el debate y las decisiones sobre la neutralidad de la red en los Estados Unidos en 2017, las presiones para controlar las inversiones extranjeras en empresas de alta tecnología estadounidenses o europeas, el Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea de 2018, y las propuestas de que la instalación de las redes 5G sea de propiedad del Estado o se haga bajo su control.

Las soluciones a algunas de estas cuestiones recién se están planteando y su efectiva implementación tomará tiempo. En América Latina y el Caribe, este tiempo debe ser utilizado para innovar, avanzar en la incorporación de las nuevas tecnologías y hacer oír su voz en las decisiones internacionales sobre estándares, regulación y fiscalidad.

Bibliografía

- App Annie (2018), "2017 retrospective: a monumental year for the app economy" [online] <https://www.appannie.com/en/insights/market-data/app-annie-2017-retrospective/#download>.
- Arrieta, A. y otros (2017), *Tecnolatinas: Latin America Riding the Technology Tsunami*, Washington, D.C., Banco Interamericano de Desarrollo (BID), mayo.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2018), *La ineficiencia de la desigualdad* (LC/SES.37/3-P), Santiago, en prensa.
- (2016), *La nueva revolución digital: de la Internet del consumo a la Internet de la producción* (LC/L.4029(CMSI.5/4)/Rev.1), Santiago, agosto.
- Comisión Europea (2018), "Mayor protección, nuevas oportunidades: orientaciones de la Comisión sobre la aplicación directa del Reglamento General de Protección de Datos a partir del 25 de mayo de 2018", Bruselas, 24 de enero [en línea] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52018DC0043&qid=1517578296944&from=EN>.
- (2017), "Presidente Jean-Claude Juncker: discurso sobre el estado de la Unión 2017", Bruselas, 13 de septiembre [en línea] http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-17-3165_es.htm.
- Dwoskin, E. (2018), "While Trump fights over aluminum and steel, Silicon Valley braces for a real trade war", *The Washington Post*, 9 de marzo.
- Europost (2017), "Turnover tax for digital giants sought", Sofía, 16 de septiembre [en línea] <http://www.europost.eu/article?id=20616>.
- Gartner (2017), "Gartner says 8.4 billion connected 'things' will be in use in 2017, up 31 percent from 2016", Egham, 7 de febrero [en línea] <https://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>.
- GSMA (2018), *The Mobile Economy* 2018, Londres.
- Huawei Technologies/Oxford Economics (2017), *Digital Spillover: Measuring the True Impact of the Digital Economy*, Shenzhen.
- IDG Connect (2018), "How AI M&A is going to rise", 10 de enero [en línea] <http://www.idgconnect.com/blog-abstract/29139/how-ai-m-a-rise>.
- Kemp, S. (2018), "Digital in 2018: world's Internet users pass the 4 billion mark", Nueva York, We Are Social, 30 de enero [en línea] <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>.
- LAVCA (Latin American Private Equity and Venture Capital Association) (2018), "US investors in LatAm startups (2013-2017)", Nueva York, 26 de febrero [en línea] <https://lavca.org/2018/02/26/us-investors-latam-startups-2013-2017/>.
- Porter, M. y J. Heppelmann (2014), "How smart, connected products are transforming competition", *Harvard Business Review*, Brighton, Harvard Business Publishing, noviembre.
- Schwab, K. (2016), "The fourth industrial revolution: what it means and how to respond", Ginebra, Foro Económico Mundial, 14 de enero [en línea] <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>.
- Swanson, A. (2018), "Looming China trade action divides industry and roils markets", *The New York Times*, Nueva York, 2 de abril [en línea] <https://www.nytimes.com/2018/04/02/business/china-us-trade-action-markets.html>.
- The Economist (2017), "The world's most valuable resource is no longer oil, but data", Londres, 6 de mayo [en línea] <https://www.economist.com/news/leaders/21721656-data-economy-demands-new-approach-antitrust-rules-worlds-most-valuable-resource>.
- UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (2018), "Statistics" [base de datos en línea] <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>.
- (2010), "Definitions of world telecommunication/ICT indicators", marzo [en línea] http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/telecomict_indicators_definition_march2010_for_web.pdf.



CAPÍTULO

La digitalización del mundo físico: la Internet de las cosas

- A. La Internet de las cosas: la conexión del mundo físico con el mundo digital
- B. El ecosistema de la Internet de las cosas
- C. Áreas de acción
- Bibliografía

A. La Internet de las cosas: la conexión del mundo físico con el mundo digital¹

En la actualidad nos encontramos inmersos en una nueva era de transformación digital marcada por la convergencia del mundo físico con el mundo digital. El avance de la Internet de las cosas es una muestra de esa transformación. La tecnología conecta una red de elementos físicos equipados con componentes electrónicos, sensores y actuadores, con software, que permite capturar, filtrar e intercambiar datos sobre sí mismos y su entorno a fin de generar información y conocimientos prácticos que se traduzcan en inteligencia para la toma de decisiones y la asignación de recursos mediante el uso de aplicaciones de segunda línea (*back-end*).

El desarrollo de la Internet de las cosas tiene implicancias para la acción pública y privada, pues la mayor conectividad de objetos, máquinas y personas permite generar más conocimiento del entorno y definir nuevos cursos de acción en todos los ámbitos. Esto posibilita la migración hacia una economía más compleja basada en el uso intensivo de información digital combinada con tecnologías de automatización e inteligencia artificial. Esta convergencia es la que, en definitiva, permite integrar el mundo físico con el digital, evolucionar en los procesos de generación de información y toma de decisiones, y generar nuevas posibilidades de creación de valor.

Estas últimas derivan fundamentalmente de dos elementos. En primer lugar, las innovaciones en el análisis de datos masivos de dispositivos de la Internet de las cosas, que facilitan la comprensión precisa y oportuna del entorno y sus elementos. Esto reduce las restricciones para identificar necesidades y preferencias que pueden satisfacerse con la oferta de nuevos productos y servicios (digitales y físicos), y la implementación de nuevos modelos de negocios y nuevos procesos operativos, en particular en las industrias tradicionales. En segundo término, la competitividad basada en la generación de información en tiempo real y su análisis, combinada con procesos de automatización, y la optimización de procesos operacionales favorecen la reducción de costos y generan mejoras de productividad. Por ejemplo, es posible optimizar operaciones en áreas tan diversas como la gestión de inventarios, el mantenimiento predictivo o la gestión de redes de energía o transporte. Esto también facilita la atención de asuntos urgentes, con respuestas más ágiles y adecuadas. Todo lo mencionado redunda en menores costos y una mayor satisfacción de los usuarios finales.

En definitiva, la creación de valor derivará de la transformación digital de actividades de generación, captura y análisis de datos, así como de las actividades operacionales. Esto es primordial en sectores tradicionales que deben enfrentar este proceso como respuesta a los cambios del entorno y que necesitan lidiar con tecnologías ajenas a su propuesta original de valor.

La Internet de las cosas representa una mayor disruptión respecto de un sistema de objetos meramente conectados. Mediante esta tecnología se conectan objetos inteligentes que, a medida que operan, generan datos que se reincorporan al proceso operacional o de producción incorporando mejoras en el proceso de decisión. Esta nueva forma de optimización de la producción de bienes y la prestación de servicios está impulsando una revolución industrial que se caracteriza por nuevas ventajas competitivas derivadas de la redefinición de los sectores y actividades tradicionales por activos tecnológicos.

La adopción de la Internet de las cosas se ha acelerado en los últimos años y se estima que en 2017 el gasto mundial en esa tecnología alcanzó los 674.000 millones de dólares (IDC, 2017). Tres variables han impulsado este avance:

- i) La mayor capacidad de captura de datos, cómputo, almacenamiento y transmisión a menores costos (mientras que en 2017 el costo de los sensores promediaba 50 centavos de dólar, en 2004 dicho costo era de alrededor de 1,30 dólares, en tanto que el costo de procesamiento de un gigabyte pasó de 527 dólares en 1990 a 5 centavos de dólar en 2012) (Atlas, 2016). También hay una caída sostenida en el costo de los dispositivos para la Internet de las cosas, lo que incluye procesamiento básico y conectividad.

¹ Este capítulo fue elaborado por Omar de León (Consultor de la CEPAL), Valeria Jordán y Fernando Rojas.

- ii) El desarrollo de tecnologías de recopilación, almacenamiento y procesamiento de datos, como las soluciones en la nube y el análisis de grandes datos, que también redujeron los costos al permitir compartir infraestructura.
- iii) La masificación de dispositivos a menores costos (tabletas, teléfonos inteligentes, sensores y otros) y la proliferación de su conectividad (en 2017, 8.400 millones de objetos estaban conectados a la Internet de las cosas) (Gartner, 2017).

El despliegue de la Internet de las cosas se potenciará en la medida en que se combine con avances en las siguientes tecnologías (PWC, 2017; Marr, 2018):

- i) Inteligencia artificial: los datos son valiosos si tienen la capacidad de desencadenar una acción (*actionable*). La inteligencia artificial aumentaría esa capacidad pues soporta aplicaciones más avanzadas de la Internet de las cosas que permiten el análisis predictivo y de definición de patrones (intervenciones preventivas), el prescriptivo (intervenciones correctivas) y el adaptativo (autonomía sobre la base de un aprendizaje continuo).
- ii) Computación en el borde/en la niebla (*edge/fog computing*): acercan las capacidades de cómputo en la nube a los dispositivos y facilitan el procesamiento y almacenamiento, así como los servicios de red entre los equipos terminales y los centros de datos. Esto permite contar con dispositivos más poderosos y reducir los flujos de información que llegan a los centros de datos, y principalmente reducir los tiempos de respuesta a algunos milisegundos. La introducción de la 5G celular fortalecerá esta operación en el borde.
- iii) Convergencia de tecnologías de la información con tecnologías operacionales (*IT/OT*): permitirá que los objetos conectados sean inteligentes, lo que implica procesos de producción más ágiles, flexibles y eficientes, así como la reducción de costos operativos².
- iv) Cadena de bloques (*blockchain*): basadas en libros mayores (*ledgers*) digitales distribuidos y encriptados, agregarían transparencia, inmutabilidad e integridad a los millones de transacciones de la Internet de las cosas que pueden darse en las cadenas de valor o en situaciones en las que los objetos cambian de propietario.

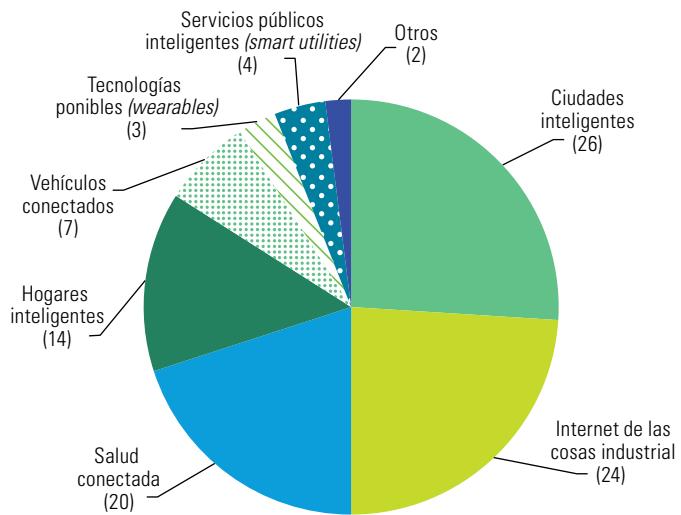
Estos avances hacen prever una considerable adopción de la Internet de las cosas a escala mundial en los próximos años. Las estimaciones indican que hacia 2025 estas tecnologías podrían tener un impacto económico de entre 3,9 billones de dólares y 11,1 billones de dólares por año, con lo que superarían a otras tecnologías disruptivas, como la Internet móvil o la computación en la nube (Ménard, 2017).

Las soluciones de la Internet de las cosas pueden aplicarse a actividades de toda índole en los ámbitos público y privado. Sus usos más conocidos son: autos conectados, sensores-actuadores industriales, sensores de la salud, logística, sensores de temperatura, luminaria pública y residencial, y controladores de riego. La utilización se está expandiendo rápidamente en soluciones tan diversas como las de control de seguridad estructural en el área de obras públicas. Así, cabe distinguir entre la Internet de las cosas del consumidor (hogar inteligente, tecnologías ponibles (*wearables*)) y la Internet de las cosas de la producción, que considera tanto aplicaciones para industrias y procesos específicos (gestión, fabricación, comercialización, distribución y demás), como soluciones multisectoriales (tecnologías ponibles para el monitoreo de la salud, vehículos conectados, ciudades inteligentes y otros). Se prevé que los futuros avances se centren en aplicaciones para ciudades inteligentes y sectores industriales, en las que la creación de valor provendría de una mayor eficiencia energética, aumentos en la productividad del trabajo, reducción de costos de mantenimiento, optimización de la gestión de inventarios y mejoras en la seguridad de los trabajadores (véase el gráfico I.1). En nuestra región los planes para la Internet de las cosas se centran en verticales específicos de cada país, entre los que siempre están presentes las ciudades inteligentes.

² La tecnología operacional se refiere a una categoría de hardware y software que monitorea y controla los dispositivos físicos.

Gráfico I.1

Internet de las cosas: cuota del mercado mundial, según área de aplicación, 2017
(En porcentajes)



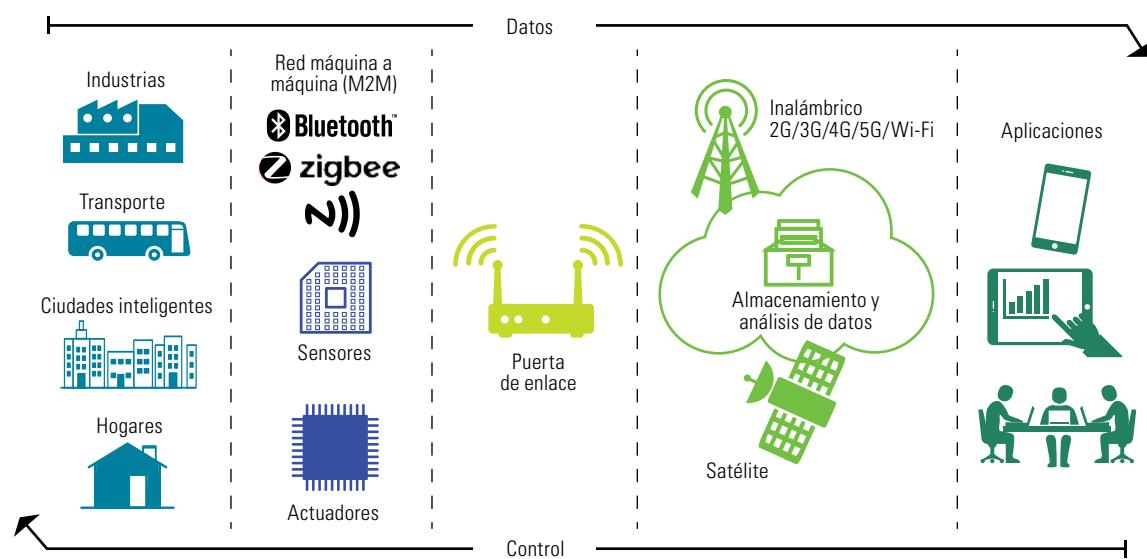
Fuente: Statista, *Market Pulse Report, Internet of Things (IoT), 2017*.

La Internet de las cosas debe abordarse desde la perspectiva de sus aplicaciones y no del concepto en sí. Según el tipo de aplicación y los dispositivos asociados, variarán los requerimientos técnicos y reglamentarios para su implementación, desde las tecnologías de acceso que se utilizan hasta los aspectos de seguridad y protección de datos.

B. El ecosistema de la Internet de las cosas

La Internet de las cosas va más allá de la conectividad de elementos físicos. Es un ecosistema habilitado por un conjunto de tecnologías en el que la creación de valor deriva del análisis de datos generados por dispositivos y el desarrollo de soluciones innovadoras que apuntan a crear eficiencia y bienestar. En un ecosistema de la Internet de las cosas, los objetos físicos y los dispositivos del usuario final están conectados a Internet, o al menos a una Intranet privada como en el caso de algunas aplicaciones como una planta industrial autónoma. Esto les permite comunicarse entre sí y recopilar datos mediante componentes electrónicos y software integrados. Las tecnologías de conectividad y cómputo en la nube permiten la transmisión y el procesamiento de los datos, además del uso de herramientas de análisis de grandes datos e inteligencia artificial para el desarrollo de soluciones de la Internet de las cosas (i-Scoop, 2018). Como se muestra en el diagrama I.1, la arquitectura funcional de ese ecosistema se compone de dispositivos, redes de comunicación, plataformas de software y aplicaciones (ASSET/Deloitte, 2018).

Diagrama I.1
Internet de las cosas: arquitectura del ecosistema



Fuente: Moor Insights & Strategy, *Segmenting the Internet of Things (IoT)*, 2014 [en línea] <http://www.moorinsightsstrategy.com/wp-content/uploads/2014/05/Segmenting-the-Internet-of-Things-IoT-by-Moor-Insights-and-Strategy.pdf>.

1. Dispositivos

La conexión de dispositivos tiene su origen en las comunicaciones máquina a máquina (M2M) que incluyen aplicaciones de supervisión y control. Tecnologías como las de identificación por radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification (RFID)*)³ y comunicación de campo cercano (*Near Field Communication (NFC)*)⁴ permiten que los elementos conectados sean únicos e identificables y puedan comunicarse entre sí. Por ello pueden convertir casi cualquier cosa en un componente de la Internet de las cosas.

En los sistemas de la Internet de las cosas también juegan un papel importante las tarjetas SIM⁵. Si bien cambiar una tarjeta de un equipo a otro por lo general es una tarea simple, en el caso de los dispositivos de la Internet de las cosas esa operación es complicada o casi imposible: hay miles de dispositivos en los que hacer el cambio, ubicados en lugares de difícil acceso, con tarjetas generalmente soldadas por razones de seguridad o para evitar daños, y demás. Para superar este problema, la Asociación GSM (GSMA) desarrolló la tecnología de SIM incorporada (*embedded*), que permite, mediante un procedimiento con especificaciones acordadas, el cambio de operador sin necesidad de acceder físicamente al equipo, lo que posibilita la conectividad global de las SIM. Simplificar los procedimientos de cambio de proveedor y facilitar la integración de la SIM al dispositivo son dos acciones que permiten el uso masivo de terminales móviles para la Internet de las cosas con menores costos. Estas especificaciones se cumplen en la tarjeta universal de circuito integrado incorporada (*embedded universal integrated circuit card (eUICC)*), que soporta múltiples perfiles de SIM y, por lo tanto, múltiples conjuntos de credenciales, que permiten el acceso a un operador diferente en cada uno, aunque siempre uno a la vez. De esta manera, los terminales pueden tener un operador principal y otros secundarios y, de acuerdo con la política definida para el servicio, es posible comutar a un operador secundario en caso de falla del principal⁶.

³ La identificación por radiofrecuencia es una tecnología que utiliza frecuencias de radio para identificar objetos físicos. Se usa una red inalámbrica en donde los campos de radiofrecuencia electromagnética transfieren datos desde una etiqueta hacia un dispositivo receptor, con el fin de identificar el producto y hacerle un seguimiento automático. Su funcionalidad incluso podría reemplazar por completo a los códigos de barras (Microsystem, 2015).

⁴ La comunicación de campo cercano es una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance y alta frecuencia que permite el intercambio de datos entre dispositivos.

⁵ El módulo de identificación de abonado (*Subscriber Identification Module, SIM*) es un circuito integrado que almacena el identificador internacional de un suscriptor móvil (IMSI) mediante el cual la tarjeta se comunica con la red móvil. De forma segura, también almacena datos para autenticar a los usuarios, identificar la red usada, identificar la tarjeta de circuito (ICC) y la clave de autenticación (Ki) de la tarjeta en la red móvil, e identificar el área local donde se encuentra el usuario.

⁶ La multiconexión (*multihoming*) y el balanceo de carga son dos elementos adicionales que se requieren en la Internet de las cosas y son imprescindibles en las aplicaciones críticas. La primera implica mantener una conexión permanente y en forma simultánea con más de una red informática. El segundo es el proceso de distribución de datos entre servicios dispares para mejorar el rendimiento y proporcionar redundancia y confiabilidad.

La Internet de las cosas incluye estos aspectos y tecnologías, y agrega un grado mayor de integración de objetos al incorporar sistemas ciberfísicos⁷ en los sistemas interconectados por las redes. Estos sistemas operan como elementos computacionales que funcionan en simultáneo para controlar un proceso físico utilizando los datos de los sensores y actuadores que controlan (por ejemplo, redes inalámbricas de sensores, sistemas de conducción autónoma o gestión de tráfico). Cuentan con sistemas de operación en tiempo real que contienen módulos de software para la conectividad en Internet (pila de TCP/IP (*TCP/IP stack*)). Así, las plataformas de la Internet de las cosas conectan los sensores con la red de datos y proporcionan información usando aplicaciones *back-end* para analizar los datos generados. El sistema de operación y los módulos de conectividad son componentes de software similares para cualquier dispositivo de la Internet de las cosas, por lo que se pueden adquirir de forma estandarizada. Lo que no es estándar es la aplicación en el dispositivo, pues cada uno desempeña una tarea única.

2. Redes de comunicaciones

Cada componente de la Internet de las cosas se conecta mediante un tipo de red de comunicaciones, dependiendo de sus funcionalidades y requerimientos. Si bien en teoría todos los elementos de este ecosistema deberían estar conectados a Internet, el costo y el desempeño de las distintas tecnologías de conectividad hacen que en la realidad no todos los dispositivos se conecten directamente a la nube, sino a través de puertas de enlace de la Internet de las cosas (*IoT gateways*) que actúan como mecanismos que agregan (juntan) conectividad, o directamente trabajan en Intranets privadas. Estas pasarelas unen los dispositivos en terreno (fábrica, hogar y otros) con la nube de cómputo donde se capturan, almacenan y procesan los datos por medio de aplicaciones, y con los equipos de usuario final (teléfonos inteligentes, tabletas y demás). Pueden tener capacidad local de almacenamiento y procesamiento para ofrecer servicios sin conexión (*off-line*) y controlar los dispositivos en terreno en tiempo real. Este método, conocido como cómputo o computación en el borde (*edge computing*), permite optimizar el rendimiento de la red⁸.

Las pasarelas se sitúan en la intersección entre la nube de Internet y el área de M2M de un ecosistema de la Internet de las cosas. Proporcionan conectividad descendente mediante Ethernet, WiFi, Bluetooth, ZigBee o alguna combinación de tecnologías de red que soporten. Por lo general, la conectividad ascendente se efectúa mediante un enrutador WAN, una estación base LTE (4G) u otra red de amplio alcance (Mc Gillicuddy, 2017). En el cuadro I.1 se identifican y caracterizan las principales redes de acceso según su rango de alcance y usos.

Cuadro I.1

Internet de las cosas: tecnologías de redes de acceso, según rango aproximado de alcance y usos

Tipo	Tecnología	Rango referenciales/ cobertura	Tasa de transferencia de datos	Frecuencia	Usos
NAN Red de búsqueda (<i>Near-me Area Network</i>)	Identificación de radiofrecuencia	Bajo: <1 metro Depende de la frecuencia y de los transceptores	Baja	120–150 kHz (LF), 13.56 MHz (HF), 433 MHz (UHF), 865–868 MHz (Europa) 902–928 MHz (América del Norte) UHF, 2 450–5 800 MHz (microonda), 3,1–10 GHz (microonda)	Acceso a edificios Inventario
	Comunicación de campo cercano	Hasta 10 cm	Baja	13,56 MHz	Sistemas de pago Controles de acceso Etiquetas inteligentes para el seguimiento de activos en aplicaciones industriales

⁷ Un sistema ciberfísico es un mecanismo (sistema físico) controlado o monitoreado por algoritmos basados en computación y estrechamente integrados con Internet. En los sistemas ciberfísicos, los componentes físicos y de software están fuertemente entrelazados. Cada elemento opera en diferentes escalas espaciales y temporales, exhibe múltiples comportamientos e interactúa con los demás según el contexto.

⁸ El método de computación en el borde sirve para optimizar los sistemas de computación en la nube mediante el procesamiento de datos en el borde de la red, cerca de la fuente de dichos datos. Esto permite reducir el consumo de ancho de banda en la transmisión de datos entre sensores y la nube de cómputo central, y principalmente reducir los retardos a pocos milisegundos como es necesario en aplicaciones críticas.

Cuadro I.1 (conclusión)

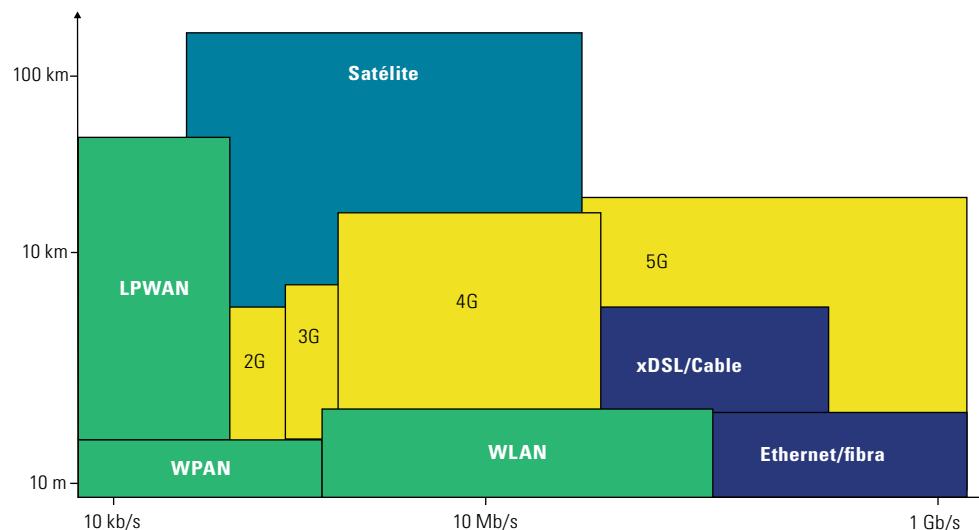
Tipo	Tecnología	Rango referenciales/ cobertura	Tasa de transferencia de datos	Frecuencia	Usos
WPAN Red inalámbrica de área personal (<i>Wireless Local Area Network</i>)	Bluetooth	<100 metros	Baja	2,4 GHz	Auriculares manos libres Dispositivos personales de la Internet de las cosas (monitoreo de ejercicio y salud)
	ZigBee	Hasta 100 metros	Baja/media	915 MHz en los Estados Unidos 868 MHz en Europa 2,4 GHz	Domótica (control de luces, termostato, seguridad y otros)
	Z-wave	Hasta 100 metros		800-900 MHz	Domótica
	EnOcean	300 metros al exterior y 30 metros en el interior		315 MHz, 868 MHz, 902 MHz	Edificios inteligentes (control de energía) Manufactura Transporte
WLAN Red de área local inalámbrica (<i>Wireless Local Area Network</i>)	WiFi	100 metros		Bandas de 2,4 GHz, 3,6 GHz y 4,9/5,0 GHz	Dispositivos Enrutadores
	WiFi HaLow (especial para la Internet de las cosas)	Más de 1 500 metros		Banda de 900 MHz	Hogar inteligente Auto conectado Cuidado digital de la salud Ambientes industriales, minoristas y agrícolas Ciudades inteligentes
	DASH7 (estándar abierto)	<5 km	Subida y bajada: 10/56 o 167 kbps	Banda ISM/banda de SRD no licenciada de 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz	Aplicaciones industriales de la Internet de las cosas
LAN Red de área local (<i>Local Area Network</i>)	Ethernet				Sistema de automatización de edificios
	Comunicación por línea de energía eléctrica				Sistema de automatización de edificios mediante el uso de la línea de potencia
Wireless WAN (Red de área amplia inalámbrica) (<i>Wireless Wide Area Network</i>)	LPWAN (red de área amplia de baja potencia) no celular	Bajo			Implementaciones a gran escala de dispositivos de la Internet de las cosas de baja potencia como sensores inalámbricos
		Sigfox Rural: 30-50 km Urbano: 3-10 km	Subida: <1 Kbps	868/915 MHz	Ídem
		LoRaWAN Rural: 15 km Urbano 2-5 km	Subida: 300 bps-25 Kbps Bajada: 300 bps-25 Kbps	433/868/780/915 MHz	Ídem
		RPMA (Ingenus) Rural 5-20 km Urbano 1-3 km	Subida: 624 Kbps Bajada: 156 Kbps, aunque destaca principalmente su capacidad de 3 Mbytes por mes	2,4 GHz	Ídem
		Weightless Típico 2 km en ciudades	Baja velocidad	Varias ISM, como 868, 915 y TV white spaces	M2M
Celulares 2G, 3G, 4G y 5G	LPWAN Celulares	LTE-M 11 km	Subida: 375 Kbps Bajada: 300 Kbps	1,2 MHz (recepción)	Rastreo de objetos Gestión de energía y medición de servicios Infraestructura de la ciudad Dispositivos portátiles
		NB-IoT 15 km	Subida: 20 Kbps Bajada: 250 Kbps	200 kHz/180 kHz (recepción)	
	Satelital				Monitoreo de cargas en transporte de larga distancia vía marítima o terrestre Localizaciones remotas (agricultura, petróleo y minería)
WAN Red de área amplia (<i>Wide Area Network</i>)	xDSL				
Backbone (infraestructura troncal)	Fibra óptica				

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En la elección de la tecnología de acceso utilizada por los componentes del sistema de la Internet de las cosas se deberán considerar criterios como la cantidad de dispositivos a ser conectados, su dispersión geográfica, el ancho de banda requerido, la confiabilidad del servicio y el costo de despliegue de la red (Kranz, 2015). En el gráfico I.2 se ilustra la relación entre el ancho de banda y el alcance de las principales tecnologías de acceso.

Gráfico I.2

Internet de las cosas: tecnologías de acceso, según ancho de banda y alcance



Fuente: CEPAL sobre la base de M. Kranz, "Number of Access Technologies and IoT Deployments Is Skyrocketing", Cisco Blogs 2015 [en línea] <https://blogs.cisco.com/digital/number-of-access-technologies-and-iot-deployments-is-skyrocketing>.

La solución de conectividad deberá identificar los principales usos relacionados con las aplicaciones de la Internet de las cosas utilizadas internamente o por el cliente final. Sobre esa base, se identifican soluciones óptimas que, en muchos casos, requerirán contratos personalizados con los proveedores (Baroudy y otros, 2018).

a) Las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) dan un giro al desarrollo de la Internet de las cosas

Las tecnologías más recientes y de más rápido desarrollo son las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) tanto propietarias, como celulares del grupo Third Generation Partnership (3GPP)⁹ cuyo despliegue fue posterior. Debido a que las tecnologías del 3GPP están emparentadas con las tecnologías móviles, heredan ciertas características de seguridad y privacidad de las redes móviles, como la confidencialidad de la identidad del usuario, la autenticación, la integridad de los datos y la identificación de los dispositivos.

Un ecosistema de la Internet de las cosas requiere conectar un gran número de dispositivos que, en general, envían pequeños paquetes de datos a intervalos regulares o a demanda. Estos dispositivos también necesitan conectarse en áreas vastas, a veces alejadas de la infraestructura tradicional de telecomunicaciones y energía (Postscapes, 2018). Las redes LPWAN facilitan la interconexión de bajo costo y utilizan poco ancho de banda, baja velocidad de transmisión de datos en grandes distancias y baterías que habilitan el continuo funcionamiento de los dispositivos por hasta 10 años o más. Una red LPWAN puede usarse para crear una red privada de sensores inalámbricos, pero también puede ser un servicio o infraestructura ofrecida por un tercero que permite a los propietarios de sensores utilizarlos sin invertir en la tecnología de enlace a la nube.

⁹ Third Generation Partnership Project es una importante asociación de partes interesadas que lidera la estandarización y el desarrollo de tecnologías móviles, incluidas las 4G y 5G, además de sistemas específicos para la Internet de las cosas, a pesar de su nombre histórico.

Las tecnologías LPWAN, como las del grupo 3GPP, LTE-Cat M1 y NB-IoT, se usan superpuestas a las redes celulares y usan su infraestructura, y son útiles para llegar a grandes distancias y al interior de edificios e instalaciones (por ejemplo, sótanos donde suelen estar los medidores). Third Generation Partnership Project (3GPP) ha desarrollado también una tecnología para su uso específico sobre redes 2G, denominada EC-GSM (Extended Coverage GSM), con uso potencial en algunos países. En paralelo al desarrollo de las tecnologías de acceso del 3GPP, para la Internet de las cosas surgieron tecnologías propietarias como LoRa (*Long Range Wide Area Network*), Sigfox y RPMA (*Random Phase Multiple Access*), entre otras (véase el diagrama I.2). Las primeras dos aparecieron unos 18 meses antes que las tecnologías similares del 3GPP, lo que dio tiempo para poder desplegarlas y ser usadas en la demanda inicial de conectividad para la Internet de las cosas. Esto permitió que sus operadores entraran al mercado, confiando después en la convergencia de gestión de ambos tipos de accesos. Después de ganar espacio en el mercado, actualmente compiten con las tecnologías del 3GPP, aunque también actúan como complementarias a las redes de operadores tradicionales de telecomunicaciones.

Diagrama I.2

Internet de las cosas: mercado de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN)



Fuente: Postscapes, "LPWAN Internet of Things (IoT) Networking Technology: A guide to the standard and its coverage, protocol stack, range and compatible chips and gateways", 2018 [en línea] <https://www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora/>.

Las tecnologías LPWAN tienen las siguientes características:

- Espectro: las del 3GPP emplean espectro licenciado o no licenciado, y las propietarias operan en espectro no licenciado, en general.
- Alcance: amplio, de hasta 10 km de la pasarela con la cual entran a la red.
- Potencia: baja (10-25 mW), diseñadas para tener autonomía con batería de hasta diez años o más, dependiendo de la intensidad del uso.
- Velocidad de transmisión: baja, de menos de 5 Kbps, en general, y con volúmenes de datos de 20 bytes a más de 256 bytes por mensaje y algunas veces al día. Las bajas velocidades de transmisión permiten altos niveles de sensibilidad en los receptores. El estándar LTE-Cat M permite mayores velocidades para aplicaciones que las requieran.
- Costo del conjunto de chips (*chipset*) de radio: 2 dólares o menos;

- Costo de suscripción de radio: 1 dólar por dispositivo por mes.
- Topología: en estrella, en la mayoría de los casos.
- Pérdida de acoplamiento máxima (*Maximum Coupling Loss*): soportan altas pérdidas, ya que pueden operar con 140-más de 160 db.
- Sensibilidad del receptor: más de -130 dbm, lo que explica las altas pérdidas soportadas y, por tanto, los altos valores de cobertura.

i) Redes LPWAN celulares (basadas en estándares 3GPP)

En 2016, bajo los estándares 3GPP, la industria de la telefonía móvil lanzó las tecnologías LTE-M y NB-IoT, especialmente diseñadas para operar con la Internet de las cosas. Estas soluciones usan la red inalámbrica móvil (en bandas licenciadas) y ofrecen mayor escalabilidad, calidad de servicio y seguridad en comparación con las redes LPWAN no licenciadas.

La tecnología LTE-M utiliza el mismo espectro y las mismas estaciones base que la red móvil 4G (*Long Term Evolution (LTE)*), pero está diseñada con mayor eficiencia energética (las baterías de los dispositivos de la Internet de las cosas duran diez años mientras que las de los teléfonos inteligentes duran alrededor de un día). Los operadores de redes 4G solo deben hacer ajustes de software para su utilización, sin necesidad de mayores inversiones en infraestructura de red, tales como antenas o radiobases. La tecnología LTE-M tiene una velocidad de datos mayor que la tecnología NB-IoT y puede transmitir grandes cantidades de datos (Ray, 2017).

El estándar de tecnología de radio NB-IoT permite una amplia conectividad de dispositivos usando el espectro de las redes móviles 2G, 3G y 4G. Puede desplegarse en el espectro asignado a LTE, utilizando bloques de recursos de un portador normal de LTE, o en un espectro dedicado para despliegues independientes (GSMA, 2016). Para los operadores tradicionales de telecomunicaciones supone una alternativa para competir con tecnologías como LoRa y Sigfox, optimizando el uso de sus redes.

Según la GSMA, en el caso específico de las redes LPWAN celulares, a las características comunes a todas las redes LPWAN se agregan las siguientes:

- Optimización para mensajes breves de tamaño similar a un SMS.
- Buena cobertura en interiores y exteriores, incluso en lugares previamente inalcanzables, ubicados lejos de las fuentes de energía.
- Facilidad de instalación sobre las redes actuales, reutilizando la infraestructura celular siempre que sea posible.
- Escalabilidad (admisión de un gran número de dispositivos en un área geográfica amplia).
- Conectividad integral segura que soporta la autenticación apropiada de la aplicación de la Internet de las cosas.
- Posibilidad de integración a la plataforma unificada de la Internet de las cosas de un operador de telefonía móvil.

En 2017, los numerosos anuncios de despliegue de redes LPWAN celulares por parte de operadores como AT&T, Orange o Verizon (LTE-M) y China Telecom, Deutsche Telekom, Telefónica o Vodafone (NB-IoT), sumados a los despliegues de las redes no celulares de Sigfox y LoRa en más de 40 países cada una, evidencian la rápida evolución y el notable crecimiento de este mercado (véase el diagrama I.3).

Diagrama I.3

Despliegue de redes de área amplia de baja potencia (LPWAN), según tecnología

Estándar/ Tecnología	Operadores	Países
NB-IoT		
Lte		
sigFox		
LoRa		

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de GSMA, "GSMA mobile IOT initiatives licensed low power wide area technology", *Internet of Things* [en línea] 2018 <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot/>; Sigfox, "Coverage" 2018 [en línea] <https://www.sigfox.com/en/coverage> y LoRa Alliance, "LORAWAN Network" 2018 [en línea] <https://www.lora-alliance.org>.

Contrariamente a lo esperado —en el sentido de que los operadores tradicionales iban a adoptar las tecnologías celulares, en tanto que terceros iban a optar por tecnologías no celulares—, se observó una diversidad de modelos de negocios, incluidas alianzas de propietarios de tecnologías con operadores incumbentes y usos combinados de tecnologías celulares y no celulares por parte de operadores de telecomunicaciones. Si bien en un principio se pensó que el surgimiento de las tecnologías LTE-M y NB-IoT desplazaría a las otras tecnologías LPWAN, se espera que hacia 2022 haya 400 millones de líneas M2M de baja potencia que usen espectro no licenciado, en tanto que las soportadas por espectro licenciado alcanzarán los 100 millones. Cabe señalar que las tecnologías del 3GPP también están en condiciones de usar el espectro no licenciado. El impulso provendría del desarrollo de ciudades inteligentes como principal sector de crecimiento (Pautasio, 2018). Aun así, el segmento móvil presenta ventajas asociadas a la posibilidad de ofrecer actualizaciones abiertas (*over-the-air*) seguras y comunicaciones de largo alcance basadas en IP, mayor cobertura geográfica y mayores tasas de transferencia de datos, lo cual es fundamental para aplicaciones en otros sectores. El desarrollo de redes 5G será determinante en esta ecuación si se considera que, por su mayor velocidad de trasmisión de datos, baja latencia y la posibilidad de trasladar mayor inteligencia en el borde de la red, soportarán no solo una gran diversidad de dispositivos conectados, sino también aplicaciones más complejas, como las aplicaciones críticas que requieren altas velocidades y bajos retardos¹⁰. En el cuadro I.2 se muestran los requerimientos de calidad para aplicaciones de Internet industrial.

¹⁰ El despliegue de las redes 5G requerirá un mayor tendido de fibra óptica para la red de retorno (*backhaul*) y la red intermedia (*fronthaul*) (Networks Asia Special Projects Team, 2018).

Cuadro I.2

Requisitos para el uso de Internet industrial

Casos de uso	Requisitos más importantes	Valores	Tecnología de acceso celular
Automatización de células industriales	Latencia Confiabilidad	0.5 ms 99,999999	5G (uMTC)
Vehículo con conducción automática	Movilidad Confiabilidad	10 m/s 99,99999	LTE, 5G
Automatización de proceso	Confiabilidad	99,999999	LTE, 5G (mMTC, uMTC)
Rastreo de transporte logístico	Cantidad de dispositivos Cobertura	100 000 por km ² Global	LTE
Rastreo de componentes	Cantidad de dispositivos Movilidad	1 000 000 por km ² Estático	LTE
Asistencia remota	Confiabilidad	99,999%	5G (uMTC)
Realidad aumentada	Velocidad de datos	10 Gbps	5g (xMBB)
Control remoto de robots	Confiabilidad	99,999%	5G (uMTC)

Fuente: Ericsson Business Review, "Manufacturing reengineered: robots, 5G and the Industrial IoT", Nº 4, 2015 [en línea] <https://www.ericsson.com/assets/local/publications/ericsson-business-review/issue-4--2015/ebr-issue4-2015-industrial-iot.pdf>.

b) Gestión del espectro

El avance en el uso de la Internet de las cosas dará lugar a una utilización cada vez mayor del espectro, por lo que los reguladores están evaluando las posibilidades de habilitar más espectro tanto en las bandas licenciadas como en las no licenciadas. En principio, no hay impedimentos para que las aplicaciones de la Internet de las cosas operen en ambos tipos de bandas, pero la decisión dependerá de las aplicaciones que cada una puede soportar¹¹. En las aplicaciones críticas, como las que se usan en la salud o la aeronáutica, maximizar la seguridad en cuanto a conectividad implica, aparte de otras medidas, el uso de espectro licenciado. En el otro extremo, por ejemplo, las aplicaciones para el relevamiento de información sobre la humedad en terrenos de riego no se verían afectadas por posibles interferencias y se usarían en espectro no licenciado¹².

La banda no licenciada es más impredecible en su gestión debido a la conjunción de múltiples tecnologías "no disciplinadas" que operan en ella al no estar sujetas a las condiciones que existen en las bandas licenciadas. Estos aspectos son clave en la actualización de la reglamentación del uso del espectro, dados los miles o cientos de miles de terminales de la Internet de las cosas que tendrán una vida útil de diez años o más. Para dar estabilidad reglamentaria a los proveedores durante uno o dos decenios, se debe prever el uso de espectro para tecnologías aún no definidas totalmente, tecnologías futuras o demandas proyectadas sobre la base de estimaciones. Un caso a analizar es el uso de redes 2G: aunque están siendo sustituidas por tecnologías más avanzadas, aún tienen presencia en las redes y podrían seguir vigentes mediante el estándar EC-GSM-IoT del 3GPP que opera precisamente sobre redes 2G.

En general, todo el espectro adecuado para la Internet de las cosas (frecuencias no muy altas) está ocupado por otros servicios, por lo cual la elección de la banda a utilizar presenta algunos problemas. Por una parte, los reguladores apuntan a liberar bandas para este y otros usos en condiciones eficientes. Por otra, a veces los usuarios se encuentran con ofertas de conectividad de los operadores de servicios en bandas licenciadas que no son competitivas, por lo que usan el arbitraje regulatorio y pasan a usar bandas no licenciadas. Estas tienen una ventaja adicional para los prestadores de servicios debido a que pueden modificar la tecnología de

¹¹ Cuando se desarrolla una aplicación de la Internet de las cosas, la elección de la banda del espectro —licenciado o no licenciado— condiciona el tamaño de los dispositivos. A mayor frecuencia, menor tamaño. No obstante, también hay que considerar que cuanto mayor es la frecuencia, también es menor la cobertura y la penetración en edificios.

¹² Las aplicaciones que trabajan en este tipo de nicho disponen de protocolos de repetición que, aprovechando que no hay plazos críticos, aseguran la fidelidad de la información.

acceso que usan con menos restricciones, lo que reduce los costos que supone la introducción de cambios. En general, son una buena solución de espectro para despliegues de tecnologías desde cero o con nuevas inversiones (*greenfield*), lo que puede favorecer a la innovación y a las empresas tecnológicas emergentes (*start-ups*).

Entre las bandas no licenciadas, la más saturada es la de 2,4 GHz debido a que, si bien en un comienzo se atribuyó universalmente a las aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM), de manera progresiva fue utilizándose para otras (es una de las más usadas en WiFi y Bluetooth). Esto hace prever que habrá un marcado incremento del uso de la banda de 900 MHz en la Región 2 (que incluye principalmente a las Américas y el Caribe), que permite buena cobertura y ahorro de energía. En algunos estudios, como el de la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT), se propone desarrollar tecnologías que mejoren la convivencia de diferentes tecnologías y encontrar soluciones de uso más eficiente de espectro compartido para la Internet de las cosas, con lo que se mitigarían las interferencias nocivas¹³.

En el área de las tecnologías de acceso en espectro licenciado, los requerimientos de los equipos de usuario (*user equipment*) móviles para voz y datos imponen un alto consumo de energía debido a que se busca mejorar el servicio. Esto no es un problema para los terminales móviles actuales, pero sí lo sería si se quisiera usar terminales similares para la Internet de las cosas. Por ello, se han creado terminales del 3GPP orientadas a bajar el consumo de energía y están en curso pruebas de concepto de tecnologías que apuntan a reducir el consumo de batería y el uso de redes costosas. Un ejemplo es un proyecto de conectividad en el Reino Unido para medidores inteligentes que usan una combinación de infraestructura celular y una malla de acceso basada en IPv6, empleando otros medidores como nodos intermedios con el protocolo 802.15.4¹⁴. En este caso, la duración del contrato es de 15 años, lo que muestra cómo se van asentando las tecnologías de acceso y los modelos de negocios.

3. Plataformas de software y aplicaciones

Más allá de la infraestructura de conectividad de objetos, la Internet de las cosas consiste en herramientas que permiten el almacenamiento y procesamiento de la información, la analítica de grandes datos y las aplicaciones que posibilitan la automatización y la realización de actividades en múltiples ámbitos¹⁵. Dado que los ecosistemas de la Internet de las cosas se encuentran en etapa de desarrollo, sus tecnologías habilitantes aún están excesivamente fragmentadas en materia de conectividad de dispositivos, protocolos de comunicación y lenguajes de software. En particular, es necesario contar con plataformas que agreguen e integren los distintos protocolos para hacerlos interoperables e integrar los diversos procesos (IoT Analytics, 2015; ASIET/Deloitte, 2018; IBM, 2018). En definitiva, las plataformas de la Internet de las cosas son el software de soporte que conecta todo el sistema: la administración de dispositivos, la comunicación, el flujo de datos y la funcionalidad de las aplicaciones. Estas plataformas están conformadas por los siguientes componentes:

- 1) Software de gestión de conectividad
 - a) Administración de dispositivos: asegura el funcionamiento de los objetos conectados, ejecutando parches y actualizaciones del software y de las aplicaciones que corren en los dispositivos o en las puertas de enlace.
 - b) Conectividad y normalización: agrega diferentes protocolos y formatos de datos en una sola interfaz de software que garantiza su transmisión y la interacción entre dispositivos¹⁶.

¹³ Véase [en línea] <http://www.ceipt.org/>.

¹⁴ El IEEE 802.15.4 es un protocolo que define el nivel físico y el control de acceso al medio (MAC) para redes inalámbricas de acceso de área personal con tasas bajas de transmisión (*low-rate wireless personal area network*).

¹⁵ En cada uno de ellos, la seguridad es esencial para evitar fugas no deseadas de información y dar confianza a los usuarios. Así, la seguridad debe contemplar desde los dispositivos y las redes de comunicación hasta la nube y las aplicaciones.

¹⁶ Este componente opera con protocolos de la Internet de las cosas que pueden mapearse en el modelo TCP/IP. Entre ellos se destacan: GSM, CDMA, LTE, Ethernet y WiFi en la capa de redes de acceso; IPv6 y 6LoWPAN en la capa de Internet, y HTTPS, CoAP y MQTT en la capa de aplicaciones (IBM, 2018).

2) Software de gestión de datos

- a) Base de datos: herramientas de almacenamiento escalable basadas en la nube con capacidad para gestionar datos estructurados (SQL) y no estructurados (NoSQL)¹⁷.
- b) Analítica de grandes datos: abarca desde la agrupación de datos básicos hasta el análisis predictivo, de patrones y prescriptivo para extraer valor del flujo de datos. Incorpora cada vez más capacidades de inteligencia artificial, como el análisis basado en el aprendizaje de máquina (*machine learning*).
- c) Visualización: permite que las personas identifiquen patrones y tendencias mediante tableros de visualización donde los datos se representan por medio de gráficos y modelos 2D o 3D.
- d) Accionamiento automático: acciones inteligentes basadas en el procesamiento de los datos en tiempo real mediante reglas que codifican el proceso decisario.

3) Aplicaciones e interfaces de usuario

- a) La interacción físico-virtual se da mediante aplicaciones e interfaces que son herramientas de software que permiten visualizar y navegar por la información, e interactuar de manera rápida y fácil con los dispositivos para establecer o regular su comportamiento mediante, por ejemplo, gemelos digitales (*digital twins*).
- b) La generación de valor en el ecosistema se basa en cuatro elementos: diseño, integración, soluciones específicas y actores.
 - i) Aunque predominan diseños que se orientan a dispositivos con pantallas como medio de interacción, se prevé que aumentará el uso de otros medios (voz, sonidos, gestos o movimientos) relacionados con tecnologías cognitivas impulsadas por los avances en inteligencia artificial¹⁸.
 - ii) La integración total de los componentes del ecosistema, incluidos sistemas desarrollados u operados por terceros, se puede dar mediante interfaces de programación de aplicaciones (*application programming interface (API)*), kits de desarrollo de software (*software development kits*) y puertas de enlace.
 - iii) El resultado del ecosistema depende de proveer soluciones específicas de la Internet de las cosas, orientadas a procesos de alcance funcional, vertical, transversal o territorial. Estas soluciones, en especial las dirigidas a verticales o territorios, con frecuencia necesitan de creaciones ad hoc. El rápido cambio en estos ecosistemas exige la creación continua de nuevas soluciones y para ello son fundamentales los laboratorios donde se puedan probar prototipos y testear soluciones.
 - iv) Interactúan diferentes actores, como expertos sectoriales, diseñadores de controladores de dispositivos, desarrolladores de sistemas y aplicaciones y gestores de red.

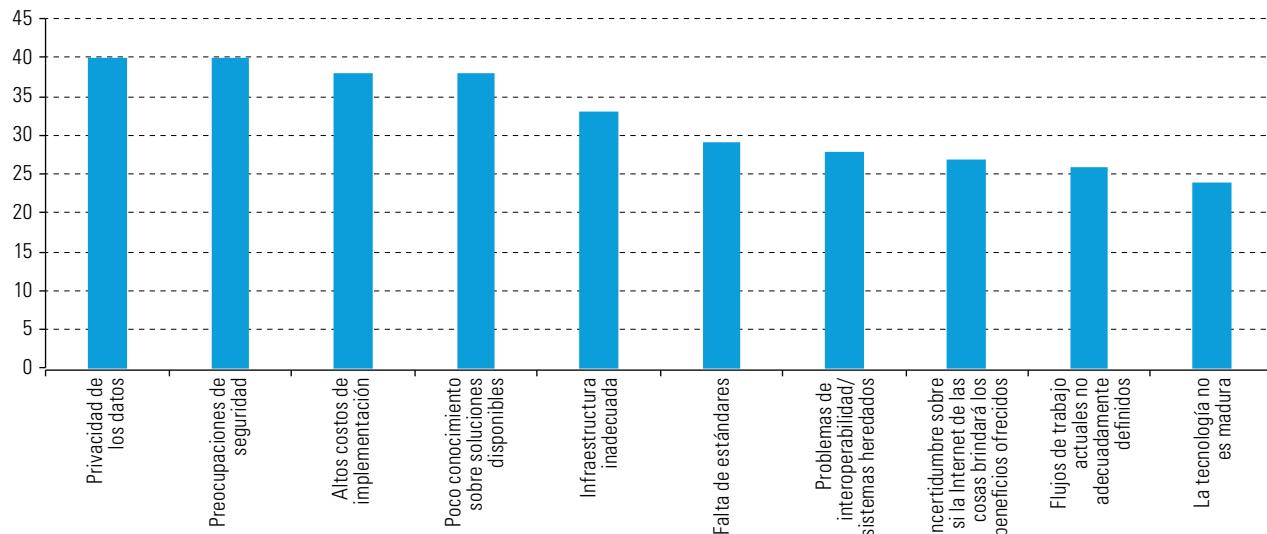
En la incorporación de la Internet de las cosas en los procesos productivos se debe tener en cuenta las alternativas para la adquisición y el uso de esta tecnología por parte de las empresas y su percepción de las ventajas asociadas a su uso. En el gráfico I.3 se muestran las razones por las cuales algunas empresas de los Estados Unidos limitan la adopción de esta tecnología.

¹⁷ Aunque es posible el almacenamiento local, el uso de herramientas en la nube es más frecuente cuando se manejan grandes datos.

¹⁸ Estas tecnologías incluyen, por ejemplo, visión por computadora (identificación de objetos, escenas y actividades en imágenes), reconocimiento de voz y procesamiento de lenguaje natural.

Gráfico I.3

Estados Unidos: principales razones para no adoptar la Internet de las cosas en empresas
(En porcentajes de respuestas)



Fuente: Statista, Market Pulse Report, Internet of Things (IoT), 2017.

En ese contexto surge el concepto de servicialización, apoyado en el desarrollo y fuerte implementación de la Internet de las cosas en algunos procesos productivos, que consiste en la transformación de la venta de un producto en la venta del servicio provisto por ese producto. Al mismo tiempo, se sustituye el pago único de una compra por un sistema de pagos recurrentes fijos (cuotas) o según consumo. En la servicialización se puede incluir el suministro no solo del servicio, sino también del hardware, el software y la conectividad necesarios para su prestación y supervisión, así como una plataforma donde el usuario puede diseñar, desarrollar y mantener sus aplicaciones.

En este mismo sentido, surge la Internet de las cosas como servicio (IoTaaS), que es una combinación de servicios prestados en la nube, como software como servicio (SaaS), plataforma como servicio (PaaS) e infraestructura como servicio (IaaS). De esta forma, se evita la compra de capacidad excesiva (un equipo propio) para soportar las cargas de trabajo máximas, que después se usará solo parcialmente, con la consiguiente inefficiencia en la gestión de recursos. Estos servicios son prestados sobre plataformas con capacidad redundante y los contratos pueden tener la flexibilidad para ajustar el suministro a la demanda. La eficiencia de la compartición de la infraestructura es el sustento conceptual de esta modalidad.

Es un cambio de modelo de negocios que mejora el valor ofrecido a los clientes, aumenta los ingresos propios, reduce los costos, y profundiza y estabiliza la relación entre las empresas y los clientes. Si bien es un modelo vigente desde hace años en otros ámbitos, su extensión masiva implica un cambio de concepto. Este modelo convierte el gasto de capital en gasto operativo, mejorando el resultado financiero de proveedores y usuarios de la Internet de las cosas. Esto es especialmente importante para las empresas usuarias pequeñas, que carecen de escala para implementar soluciones con dicha tecnología.

Existen diversos modelos de negocios para la prestación de IoTaaS, derivados de las características de su cadena de valor: la oferta de unos se centra en operadores de redes de telecomunicaciones, en tanto que otros son provistos por empresas de software o plataformas originadas en el sector de tecnologías digitales.

Los operadores de telecomunicaciones han adoptado estrategias apoyadas en su capacidad de proveer conectividad, es decir, su servicio más básico. Con ese sustento, están escalando la cadena de valor mediante la compra o, más frecuentemente, la asociación con nuevos entrantes en el mercado para construir plataformas de la Internet de las cosas. Su propósito es brindar un servicio de extremo a extremo para una base de clientes

que realizan negocios entre empresas (B2B) o transacciones entre empresas y consumidores (B2C). Podrían escalar aún más si desarrollaran cadenas que incluyeran a los clientes de sus clientes, es decir, un modelo de negocios entre empresas y entre empresas y consumidores (B2B2C). Sin embargo, pocos operadores tienen el conocimiento y la experiencia requeridos para avanzar en esta área, aunque los avances han sido importantes. A los efectos de completar la cadena, algunos operadores de telecomunicaciones han optado por establecer alianzas estratégicas, fusiones u otro tipo de relacionamiento con empresas especializadas en sectores específicos. Por ejemplo, Vodafone ha creado una estructura separada para construir un ecosistema completo de servicios globales y verticales de la Internet de las cosas de extremo a extremo, sobre la base de alianzas con decenas de empresas especializadas¹⁹. Otro ejemplo de asociación con especialistas para completar la cadena se da en el área de la salud, donde empresas como Telstra o Telefónica buscan proveer una plataforma completa, alcanzando incluso a la analítica de datos.

En general, todos los grandes operadores del mundo hacen lo posible por entrar en el negocio de la Internet de las cosas como servicio y así se han dado asociaciones como la IoT World Alliance, que incluye operadores como Etisalat, KPN, NTT DOCOMO, Rogers, Singtel, Telefónica, Telstra y Vimpelcom. Esta alianza se destaca por ofrecer una solución global que agiliza la adopción de las comunicaciones de la Internet de las cosas en más de 60 países. Su servicio *Single Global SIM* opera mediante un único contrato, una sola factura y un solo pago que agregan el servicio de todos los operadores²⁰. Las principales áreas de crecimiento de esa alianza incluyen: automóviles conectados, equipos pesados, medidores inteligentes, pequeños dispositivos electrónicos, dispositivos portátiles, y soluciones de salud y de seguridad a distancia. Otras empresas de telecomunicaciones siguen caminos similares, aunque algunas solo se enfocan en determinados verticales.

A los operadores de telecomunicaciones se han agregado grandes empresas de tecnologías digitales en la oferta de plataformas de la Internet de las cosas como servicio²¹. En este contexto, Microsoft ha lanzado la plataforma Microsoft IoT Central de Microsoft Azure, que permite a los usuarios crear aplicaciones de la Internet de las cosas sin preocuparse por la gestión de la infraestructura de soporte²². En el mismo sentido, AWS IoT ayuda a recopilar y enviar datos a la nube, facilita la carga y el análisis de la información, y ofrece la posibilidad de administrar dispositivos para que el cliente pueda concentrarse en desarrollar aplicaciones que se ajusten a sus necesidades. Por su parte, IBM Watson IoT Platform es un servicio completamente gestionado en la nube, diseñado para simplificar la extracción de valor de los dispositivos de la Internet de las cosas. Proporciona funcionalidades como registro de dispositivos, conectividad, control, visualización rápida y almacenamiento de datos.

Incluso empresas cuyo origen y actividad principal no son las tecnologías digitales, como Bosch o General Electric, han comenzado a incursionar en el sector. Esta última, por ejemplo, desarrolló Predix, que ofrece servicios de inteligencia industrial para combinar el modelado de activos, el procesamiento de grandes datos, y el análisis y el desarrollo de aplicaciones. Muchas otras grandes empresas están desarrollando sus plataformas, pero todavía no cuentan con soluciones tan completas como para ser consideradas Internet de las cosas como servicio (IoTaaS), ya que ofrecen soluciones de software sin incluir aspectos como la conectividad, los terminales y su gestión.

C. Áreas de acción

La implantación y la masificación de la Internet de las cosas conllevan acciones en diferentes planos. Por una parte, es necesario efectuar cambios a nivel de la demanda de estos servicios, que dependerán de elementos vinculados al patrón de desarrollo de cada país y de su dinámica de cambio estructural hacia actividades tecnológicamente más avanzadas, es decir, más centradas en lo digital. Estos elementos fueron analizados en CEPAL (2015) al plantear la necesidad de transitar desde la Internet del consumo hacia la Internet de la producción. En la conclusión de este capítulo, el centro de atención serán los factores que inciden directamente en la oferta de los servicios o los que vinculan oferta y demanda, como es el caso de los modelos de política y regulación.

¹⁹ Véase [en línea] https://iotpartners.vodafone.com/partner_list.html.

²⁰ La alianza sigue la especificación GSMA para tarjetas SIM integradas.

²¹ Entre ellas destacan Amazon Web Services (AWS) IoT, Microsoft Azure IoT, Google Cloud Platform, ThingWorx IoT Platform, IBM Watson IoT Platform, Artik by Samsung Electronics, Cisco IoT Cloud Connect, Universal of Things (IoT) Platform (Hewlett Packard) y Salesforce IoT Cloud (Singh, 2018).

²² Véase [en línea] <https://news.microsoft.com/es-es/2017/12/05/microsoft-iot-central-ofrece-las-herramientas-necesarias-para-acelerar-el-uso-del-iot-en-las-emrpesas/>.

1. Armonización de estándares e interoperabilidad

Los estándares son importantes para la creación de mercados de nuevas tecnologías. En la operación de la Internet de las cosas hay varias capas de servicios que deberían ser compatibles con capas similares de diferentes fabricantes u operadores, y compatibles también verticalmente, para evitar las posiciones de dominio de mercado y de bloqueo del desarrollo. Es claro el riesgo de incompatibilidad de los accesos cuando se usan tecnologías propietarias, inclusive cuando se usan topologías centralizadas o descentralizadas, a pesar de que se podría resolver con pasarelas a nivel de la capa de agregación de datos. También puede haber incompatibilidades en las capas de procesamiento inicial de datos, preselección de datos, almacenamiento, integración, procesamiento y accionamiento de dispositivos. En este sentido, es importante trabajar en la promoción de estándares y en la interoperabilidad, no solo en los elementos mencionados sino también en materia de los formatos de los datos y los mecanismos de seguridad y protección de la privacidad, que deben ser evaluados con objetivos de estandarización e interoperabilidad con la mayor amplitud geográfica posible (regional y mundial).

2. Transición hacia el protocolo IPv6 y los sistemas de numeración

El protocolo IPv6 presenta muchas ventajas sobre el IPv4 para el despliegue de la Internet de las cosas. Además de posibilitar la multiconexión (*multihoming*), permite disponer de suficientes direcciones IP para la gran cantidad de dispositivos terminales que se conectarán a Internet, con lo que se evita la necesidad de compartir direcciones IPv4. En la consideración de la transición de un protocolo a otro se debe agregar el fenómeno, cierto en el futuro mediato, de que existan restricciones en la disponibilidad de numeración móvil para la expansión de acceso a los equipos de usuario de la Internet de las cosas. Algunos países han expandido estas series numéricas, pero igualmente se considera que la numeración IPv6 puede ser el sistema final de identificación.

3. Gestión del espectro radioeléctrico

Dado que el espectro es la base de las redes de acceso, como se señaló en la sección I.B, las autoridades deben considerar anticipadamente su asignación. Debido a la incertidumbre en las estimaciones sobre su uso en el futuro, sería conveniente establecer una política flexible (*light touch*) en cuanto a la atribución de bandas, liberalizando su uso cuanto sea posible para facilitar el despliegue de redes. Esto implica analizar los requerimientos actuales y sus tendencias en las bandas de espectro empleadas en la Internet de las cosas (licenciadas y no licenciadas), identificar qué otras bandas pueden atribuirse para esos accesos y determinar las acciones a seguir.

La atribución de bandas para la Internet de las cosas en el mundo presenta situaciones dispares. En general, no hay una tendencia definida en materia de preferencia de bandas, aunque sí hay consenso respecto de que el espectro debe analizarse cuidadosamente por ser un insumo crítico. Aunque en 2015 la CEPT indicaba que en Europa no se justificaba la atribución de bandas exclusivas para la Internet de las cosas, ya a mediados de 2016 estudiaba la viabilidad de habilitar espectro en 700 MHz. Más aún, a fines de ese año, el Grupo de Políticas del Espectro Radioeléctrico (RSPG), mediante una hoja de ruta del espectro para la Internet de las cosas, comenzó a analizar el tema en detalle. Por su parte, OFCOM ha atribuido bandas de uso no licenciado para las aplicaciones de la Internet de las cosas en el Reino Unido. En septiembre de 2015, tras una consulta, concluyó que no era necesaria una nueva licencia para desplegar servicios en las bandas de 55-68 MHz, 70,5-71,5 MHz y 80-81,5 MHz, y que las licencias en estas bandas eran aptas para proveer servicios de la Internet de las cosas y M2M.

En América Latina, de León (2018) evalúa que, por el momento, no es urgente disponer de un espectro licenciado definido para la Internet de las cosas debido a que la relación entre la demanda de la Internet de

las cosas y la atribución actual de espectro se encuentra en un proceso evolutivo incipiente. Sin embargo, es importante analizar si las condiciones de licenciamiento no contienen restricciones indeseadas para el despliegue de las tecnologías de acceso a la Internet de las cosas.

4. La demanda del sector público como política de desarrollo de la Internet de las cosas

Las entidades gubernamentales siempre disponen de una poderosa herramienta para impulsar el despliegue de nuevas tecnologías: la demanda de servicios apoyados en esas tecnologías por parte de sus propias instituciones. Esto promueve que los actuales y potenciales operadores准备 sus modelos de negocios para ofrecer esos servicios e incluyan en sus planes el despliegue de la Internet de las cosas. Así se evita pasar por procesos de validación de casos, pruebas de concepto y otras fases previas habituales antes del despliegue comercial. La oportunidad de obtener un contrato con el Estado, y exhibirlo como antecedente, es un incentivo adicional, en particular cuando se trata de servicios públicos de gran impacto. Si esta dinámica se da de forma temprana, permite enfrentar las cuestiones relativas a la calificación de la mano de obra en la Internet de las cosas, así como el grado de preparación del país para estos avances.

5. Políticas y regulación de la privacidad, la protección y el uso de datos

La política de privacidad debe desarrollar un modelo de uso de los datos de la Internet de las cosas que, además de respetar la privacidad, permita su uso compartido mediante lineamientos claros y públicos que incluyan el consentimiento de los usuarios, atiendan su preocupación por el uso de datos sensibles y eviten restricciones al desarrollo de la Internet de las cosas. Los casos graves de fuga de información deterioran la confianza en la tecnología y restringen su desarrollo. Aunque las actuales aplicaciones recopilan mucha información personal sin que el usuario pueda limitar su uso, en la Internet de las cosas habrá un mayor volumen y profundidad de la información, seguramente con muchas menos advertencias previas, como sucede con las aplicaciones móviles. Los dispositivos finales son pequeños y la relación capacidad-precio es baja, por lo que no permiten una interacción confiable con el usuario en la medida en que la solicitud de permisos específicos no son tan viables como en las pantallas de los equipos móviles de usuarios.

En el campo de las aplicaciones industriales, el sistema completo está bajo un control centralizado y más estricto que en las aplicaciones para los usuarios particulares. En esos casos, se podrá limitar el tipo de información a suministrar. Desde otro punto de vista, no obstante, la limitación en el tipo y la cantidad de información haría perder una externalidad positiva para el diseño de políticas basadas en la analítica de grandes datos. El análisis de información generada a partir de la Internet de las cosas en ámbitos como la salud o el transporte podría derivar en políticas más eficientes y efectivas que beneficiaran al conjunto de la sociedad. En este tema es importante hacer anónimos los datos tan pronto como se pueda desde el equipo del usuario o desde el primer punto de concentración de información. Desde el punto de vista técnico existen dificultades debido a la baja capacidad de procesamiento de esos equipos para impedir la identificación del usuario desde el momento en que ingresa al sistema.

Los dispositivos de la Internet de las cosas pueden recoger información en una jurisdicción y procesarla, almacenarla, analizarla y usarla en otras. Este es un comportamiento que proviene tanto de la propia operación, en la que hay aplicaciones que lo requieren, como de la búsqueda de la eficiencia y el mejoramiento de la calidad de los servicios centralizando la información. En este sentido, las regulaciones de localización que impiden proveer servicios transfronterizos empleando servidores centralizados, en particular alojar datos nacionales en el extranjero, pueden ser una restricción al desarrollo de soluciones de la Internet de las cosas.

6. Políticas de seguridad

Debido a su despliegue masivo y al bajo costo de los terminales, la Internet de las cosas presenta un alto perfil de riesgo en cuanto a ataques. El bajo costo impide el empleo de sistemas sofisticados de seguridad mediante la encriptación. Las actividades criminales pueden atacar los dispositivos, los enlaces de acceso y los servidores, muchos de ellos alojados en la nube. Así se podría acceder a información masiva valiosa o capturar controles críticos. Por ejemplo, se podría dejar inoperante un sistema de control de servicios públicos, distorsionar el funcionamiento de un sistema de atención a la salud o provocar accidentes con autos conectados.

Aunque es imposible disponer de una solución que evite cualquier ataque, es posible reducir los riesgos mediante el cuidadoso diseño de seguridad de los equipos de usuario, la circulación de información imprescindible por las redes de acceso y transporte, el establecimiento de varios niveles de seguridad en el núcleo de la red, el reforzamiento de controles de acceso a los dispositivos y, sobre todo, el diseño de equipos de usuario que acepten actualizaciones de software que eliminen vulnerabilidades. Esto último es importante porque esos dispositivos deben estar en operación durante períodos muy largos y en lugares de difícil acceso.

Dado que las fallas en la seguridad son un factor negativo, la reglamentación de la resiliencia de sus redes es un elemento fundamental para la confianza de los usuarios en la Internet de las cosas y su desarrollo.

Bibliografía

- 3GPP (2018), "About 3GPP Home" [en línea] <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp> [fecha de consulta: 26 de febrero de 2018].
- ASIET (Asociación Interamericana de Empresas de Telecomunicaciones)/Deloitte (2018), "IoT para el Sector Empresarial en América Latina".
- Atlas (2016), "The average cost of IoT sensors is falling", *Atlas* [en línea] <http://www.theatlas.com/charts/BJsmCFAI> [fecha de consulta: 8 de marzo de 2018].
- Baroudy, K. y otros (2018), "Unlocking value from IoT connectivity: Six considerations for choosing a provider", McKinsey & Company, marzo.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2015a), *La nueva revolución digital: de la Internet del consumo, a la Internet de la producción* (LC/L.4029 (CMSI.5/4), Santiago.
- Gartner (2017), "Gartner Says 8.4 Billion Connected" [en línea] <https://www.gartner.com/>, <https://www.gartner.com/newsroom/id/3598917> [fecha de consulta: 6 de marzo 2018].
- GSMA (2018), "GSMA mobile IOT initiatives licensed low power wide area technology", *Internet of Things* [en línea] <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot/> [fecha de consulta: 27 de febrero 2018].
- (2016), "3GPP Low Power Wide Area Technologies".
- IBM (2018), "Connecting all the things in the Internet of Things: A guide to selecting network technologies to solve your IoT networking challenges", 3 de enero [en línea] <https://www.ibm.com/developerworks/library/iot-lp101-connectivity-network-protocols/iot-lp101-connectivity-network-protocols-pdf.pdf>.
- IDC (2017), "IDC Forecasts Worldwide Spending on the Internet of Things to Reach \$772 Billion in 2018", 7 de diciembre [en línea] <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43295217>.
- IoT Analytics (2015), "IOT PLATFORMS The central backbone for the Internet of Things".
- i-SCOOP (2017), "The Internet of Things (IoT) - essential IoT business guide" [en línea] <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/> [fecha de consulta: 19 de febrero de 2018].
- Kranz, M. (2015), "Number of Access Technologies and IoT Deployments Is Skyrocketing", Cisco Blogs [en línea] <https://blogs.cisco.com/digital/number-of-access-technologies-and-iot-deployments-is-skyrocketing>.
- LoRa Alliance (2018), "LORAWAN Network" [en línea] <https://www.lora-alliance.org> [fecha de consulta: 27 de febrero de 2018].
- Marr, B. (2018), "The Internet of Things (IOT) will be massive in 2018: here are the 4 predictions from IBM", *Forbes*, 4 de enero.
- Mc Gillicuddy, Sh. (2017), "The Role of IoT Gateways in the Network", *Network Computing* [en línea] <https://www.networkcomputing.com/cloud-infrastructure/role-iot-gateways-network/1896121351> [fecha de consulta: 21 de febrero de 2018].
- Mclelland, C. (2017), "What is an IoT Platform?" [en línea] <https://www.iotforall.com/what-is-an-iot-platform/>.
- Ménard, A. (2017), "How can we recognize the real power of the Internet of Things?", McKinsey & Company, noviembre.

- Microsystem (2015), "RFID, ¿Qué es y para qué sirve?", *Microsystem* [en línea] <https://www.microsystem.cl/rfid-que-es-y-para-que-sirve/> [fecha de consulta: 21 de febrero de 2018].
- Networks Asia Special Projects Team (2018), "IoT, 5G and the significance of fiber", *Networks Asia* [en línea] <https://www.networksasia.net/article/iot-5g-and-significance-fiber.151537031> [fecha de consulta: 20 de febrero de 2018].
- Pautasio, L. (2018), "Los operadores van por tecnologías 3GPP pero el mercado IoT en espectro sin licencia es potencialmente mayor", *TeleSemana.com*, 20 de febrero.
- Postscapes (2018), "LPWAN Internet of Things (IoT) Networking Technology: A guide to the standard and its coverage, protocol stack, range and compatible chips and gateways" [en línea] <https://www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora/>.
- PWC (2017), *Leveraging the upcoming disruptions from AI and IoT how artificial intelligence will enable the full promise of the Internet-of-Things* [en línea] <https://www.pwc.com/gx/en/industries/communications/assets/pwc-ai-and-iot.pdf>.
- Ray, B. (2017), "LTE-M & 2 other 3GPP IoT technologies to get familiar with", *LTE-IoT-Technologies* [en línea] <https://www.link-labs.com/blog/lte-iot-technologies>.
- Sigfox (2018), "Coverage" [en línea] <https://www.sigfox.com/en/coverage> [fecha de consulta: 27 de febrero de 2018].
- Singh, S. (2018), "Top 20 IoT Platforms in 2018 (Updated)", *Internet of Things Wiki* [en línea] <https://internetofthingswiki.com/top-20-iot-platforms/634/>.



CAPÍTULO

II

La cadena de bloques: la Internet de la confianza

- A. Las cadenas de bloques y la computación descentralizada
 - B. Los nuevos recursos disruptivos
 - C. Una tecnología abierta para América Latina y el Caribe
- Bibliografía

A. Las cadenas de bloques y la computación descentralizada¹

El mundo es testigo de la creación y difusión de una nueva generación de superherramientas, entre las que destacan las aportadas por una tecnología disruptiva reciente: la cadena de bloques (*blockchain*)². Cuando es necesario establecer un entendimiento común sobre la realidad, en cualquier ámbito específico, normalmente se establece una autoridad central que mantiene un registro oficial que todos aceptan. Además, cada participante debe manejar sus propios registros e irlos conciliando con los de cada contraparte con la que interactúa, para después comparar el resultado final con el que expone la fuente oficial.

Con la aparición de la tecnología de cadena de bloques como base de funcionamiento de la criptomonedas bitcóin en 2008, surge un nuevo paradigma para superar ese modelo, enfocado en mantener un registro —en este caso, contable— de la historia y el saldo actual asociado a diversas cuentas. La novedad radica en que con esa tecnología no se requiere una entidad central en la que todos los participantes deben confiar. De hecho, los participantes que hacen funcionar el sistema tampoco necesitan confiar unos en otros, ni siquiera es necesario que se conozcan entre sí, y se asume y tolera el hecho de que existe un número relevante de agentes maliciosos. Esto constituye lo que se conoce como “sistema de confianza cero”.

Se suele afirmar que la confianza es una condición necesaria para el buen funcionamiento de cualquier comunidad, ya sea un sistema político, un mercado, una empresa o cualquier otra. También está ampliamente difundido el diagnóstico de que en la actualidad esas confianzas necesarias están en crisis. Recuperarlas parece una misión tan urgente como poco realista, puesto que supone un objetivo tan complejo como recuperar la inocencia en un contexto donde las condiciones que originaron o al menos facilitaron esa crisis, como la distribución de la capacidad de generar información replicable y la extensión de uso de redes sociales propia de la era de los teléfonos inteligentes, no hacen sino extenderse y profundizarse. Por eso es tan valiosa la solución aportada por la tecnología de cadena de bloques, ya que enfrenta y supera esa crisis de un modo radical y con efecto instantáneo, volviendo innecesaria la confianza. Para ser más precisos, la confianza se deposita en otra parte, se deja de confiar en las personas e instituciones para pasar a confiar en el método con el que se interactúa con ellas.

Esa tecnología también ofrece una nueva forma de lidiar con la incertidumbre al brindar la posibilidad de hacer acuerdos incensurables, irrebatibles, inmodificables y autoejecutables (por lo que no requieren de la voluntad de un sujeto obligado a cumplir su compromiso en el futuro), extendiendo así el carácter de sistema de confianza cero a la coordinación de acciones presentes y futuras entre agentes. Esto genera una externalidad valiosa: la satisfacción de las expectativas en el intercambio produce, si no confianza, una condición indistinguible de ella. La confianza deja así de ser un requisito y pasa a ser el resultado de una interacción exitosa. No sorprende entonces que la cadena de bloques sea el entorno adecuado para el desarrollo de economías y modelos de negocios colaborativos. Cualquier participante puede agregar transacciones con nueva información que se añade a la ya existente, siempre y cuando siga las reglas acordadas para que una transacción sea válida. Una regla inherente a esta tecnología es que no se puede modificar información previa; solo se puede agregar información nueva.

Para que sea posible esta construcción de una realidad compartida de modo tal que no solo no se requiera, sino que no sea posible, que exista un ente central que controle el proceso, también es necesario manejar de manera descentralizada todo lo relacionado con la operación. Esto incluye una lógica que establece cómo un participante se incorpora o sale de la red, la forma en que se actualizan las reglas mediante las que se determina que una transacción es válida y el modo en que se regula la velocidad con la que se incorpora nueva información a la base de datos compartida.

¹ Este capítulo fue elaborado por José Bravo de Goyeneche y Jens Hardings, ambos de Kawin SpA, organización dedicada a procesos descentralizadores y tecnología de cadena de bloques en Santiago, Chile.

² La red Bitcoin, que puede ser entendida como la primera prueba de concepto de esta tecnología, surgió en 2008, en tanto que Ethereum, que supone un salto evolutivo relevante, apareció recién en 2015.

Si bien la mayoría de los conceptos teóricos y métodos requeridos para poder generar una cadena de bloques ya existían, en 2008, Satoshi Nakamoto³ logró combinar diversas tecnologías existentes y generar optimizaciones para que fuera factible manejar un sistema de tamaño relevante y, sobre todo, concretar un ecosistema basado en un equilibrio regulado por incentivos. Esto permitió que el bitcóin y su tecnología habilitante pasaran a ser temas ineludibles en los ámbitos tecnológico, financiero y político. En buena parte, su motivación fue generar un mecanismo que permitiese pagos directos entre personas sin requerir la actuación o autorización de instituciones como los gobiernos, los bancos centrales o las instituciones financieras. Se buscaba superar la falla de todas estas instituciones a la hora de evitar los efectos de la crisis financiera mundial. En el primer bloque de la cadena de Bitcoin —el bloque génesis— se incluye el texto de un titular del *The Times* del 3 de enero de 2009 que se refiere al segundo rescate a los grandes bancos en medio de la crisis (Elliott, 2009).

Así surge un movimiento creado completamente fuera de los estándares y circuitos tradicionales de la investigación científica, el desarrollo de tecnología y los canales de incorporación comercial. En este caso, el mecanismo creado se publicó sin conocerse claramente su origen y sin que estuviera completo. Asimismo, la masificación surgió de la adopción espontánea por parte de muchas personas independientes, motivadas, en gran medida, por la crisis de confianza en las instituciones responsables de velar por el funcionamiento ordenado y correcto de la economía. El objetivo era poder utilizar herramientas monetarias independientes de cualquier control centralizado que pudiera beneficiar a unos pocos en desmedro del “99%”, en referencia a los eslóganes de movimientos como “Ocupa Wall Street”. El mecanismo de incentivos, la estructura descentralizada y la posibilidad de manejar sistemas de información y datos de grandes tamaños hicieron que el bitcóin y su tecnología habilitante (la cadena de bloques) hayan adquirido cada vez más importancia en el debate de política.

1. Funcionamiento técnico

a) Nomenclatura

Salvo en pocos casos, el proceso de creación de esta tecnología no se ha caracterizado por la introducción de neologismos, sino por el uso de palabras conocidas que reflejan, de manera analógica, el papel que desempeñan o, más precisamente, uno de los papeles que pueden desempeñar. Estas palabras están lejos de expresar su esencia o limitar su alcance, son muy útiles para un entendimiento parcial inicial o para reforzar lo que se plantea o sugiere —sobre todo en el contexto en que se hacen públicas o se difunden—, pero pueden inducir a error y dificultar un entendimiento más profundo y preciso del sistema.

Para comprender el funcionamiento de una cadena de bloques es necesario conocer algunos conceptos básicos que se usan ampliamente para su implementación.

i) Función criptográfica hash

Es un proceso que transforma una entrada (texto o cualquier archivo binario) en una secuencia de largo fijo, de forma inequívoca y repetible denominada *hash*. En criptografía y, por ende, para aplicaciones de las cadenas de bloques, se busca que la transformación sea de una vía, de forma que sea fácil calcular un *hash* dada una entrada, pero que resulte muy difícil encontrar la entrada que lo genera partiendo del resultado de un *hash*. Así, la forma más fácil de encontrar un *hash* que cumpla con algún patrón (por ejemplo, que los primeros n dígitos sean cero) es simplemente buscar de manera aleatoria entradas hasta encontrar una que cumpla dicho patrón.

ii) Llaves públicas y privadas

Corresponden a criptosistemas asimétricos, en los cuales se usa una llave para cifrar y otra llave diferente para descifrar un texto o archivo. Una característica es que conociendo la llave pública no es posible obtener información sobre la llave privada; otra es que existe una forma computacionalmente fácil de generar ambas llaves en conjunto. De ese modo se asume que quien tiene la llave privada es quien generó ambas y, por ende, es el dueño de lo que ese par de llaves representa. El uso de la llave privada puede probar su tenencia sin mostrarla, transformando un contenido que posteriormente se puede verificar con la llave pública.

³ Seudónimo del creador —o grupo de creadores— del protocolo Bitcoin y de su software de referencia Bitcoin Core.

iii) Fichas virtuales transferibles (*tokens*)

Es un identificador único que representa algo y que está sujeto a control del doble gasto, de forma que en todo momento existe una sola ficha, asociada a un solo dueño, quien demuestra su control y eventualmente la puede transferir haciendo uso de su llave privada u otro mecanismo establecido para ese fin. Lo representado por esa ficha puede ser cualquier cosa, incluidas meras unidades de valor, participaciones accionarias, derechos sobre cosas o votos. La “tokenización” es el proceso de identificar derechos y reglas para asociarlos a diferentes fichas que luego pueden ser transadas en una cadena de bloques.

b) Bloques encadenados

Como principio básico, las transacciones se agrupan en bloques, por lo que la forma de agregar información nueva a la base de datos es creando un nuevo bloque, válido según las reglas comúnmente aceptadas, y enviándolo a los participantes conocidos para su replicación. Si bien existen propuestas en las cuales las transacciones no se agregan en bloques sino de forma individual y en paralelo, en lugar de en forma secuencial, se mantiene el principio básico de que las nuevas transacciones (agrupadas en bloques o no) validan a las previas. Esta validación se basa en que, como las transacciones hacen referencia a las anteriores, solamente son válidas si todas estas también lo son.

c) Minería e incentivos

Quienes participan en la búsqueda de nuevos bloques para incorporar las transacciones que se comparten se denominan “mineros” y reciben una recompensa por su labor. En el caso del bitcóin, por ejemplo, hay una recompensa predeterminada por cada bloque nuevo encontrado, además de un eventual pago por cada transacción incorporada en el bloque determinado por el originador de la transacción. Si bien en algunas cadenas de bloques el pago por transacción se rige por reglas específicas, el bitcóin y la mayoría de las criptomonedas se rigen por un equilibrio entre oferta y demanda. Quien desea que su transacción sea incorporada de forma expedita en la base de datos puede ofrecer un pago mayor, lo que incentivará que los mineros privilegien esa transacción por sobre otras al construir el siguiente bloque, sobre todo si por alguna restricción técnica no pueden incorporar todas las transacciones pendientes en un momento determinado. La recompensa predeterminada por bloque cumple dos funciones:

1. Es la forma como se crean y distribuyen las nuevas criptomonedas. Usando terminología propia del dinero (aunque las criptomonedas, en sentido estricto, no lo son), constituye el único modo de agregar circulante al sistema, es decir, de aumentar su “masa monetaria”. Dado que el valor de una criptomoneda, al igual que una moneda fiduciaria, se basa finalmente en la confianza que tienen sus potenciales dueños de que dicho valor se mantenga en el tiempo, el hecho de que el incremento de criptomonedas esté vinculado a su uso y sea racionalmente programado permite confiar en la neutralidad y estabilidad del sistema, dotando así de valor a estas monedas.
2. Es un incentivo a que muchos potenciales mineros dediquen su esfuerzo, equipamiento y gasto de energía eléctrica a validar las transacciones y los bloques, de manera de que la minería cumpla con la premisa de que existe una masa crítica de mineros independientes participando en el proceso. El proceso de minado permite el funcionamiento adecuado de una cadena de bloques, siempre y cuando la participación —medida en poder computacional para el caso de la prueba de trabajo (*proof of work*)— esté distribuida entre muchos participantes y que ningún participante específico, o grupo coordinado de participantes, se acerque a tener un 50% del total del poder de decisión⁴. De esa forma,

⁴ Esto resulta materialmente imposible cuando las redes alcanzan cierta escala. En 2014, Campbell R. Harvey calculó que para lograr un ataque exitoso a la red Bitcoin se requería un poder de cómputo equivalente a 50.000 unidades del supercomputador más grande que existía en ese momento (el chino Tianhe-2, del que había solo un ejemplar). Los ataques deberían efectuarse de un modo coordinado y en un mismo pulso de sincronización y propagación (aproximadamente 10 minutos en el caso del bitcóin). Desde entonces, la red Bitcoin ha registrado un crecimiento exponencial y su tasa de *hash* (*hashrate*) pasó de 150 petahashes por segundo (PetaHPS) a 23,6 eptahashes por segundo (EptaHPS), lo que implica un crecimiento del tamaño de la red y de la dificultad para vulnerarla del 15.733%.

se evitan abusos en la determinación de qué transacciones y bloques aceptar, y se asegura que las reglas establecidas sean consensuadas y no estén determinadas por una parte específica en virtud de sus intereses particulares.

d) Algoritmos de consenso

Para resolver de forma descentralizada la manera en que distintos participantes que no se conocen entre sí y deben actuar de modo coordinado agregan un bloque se usa lo que se conoce como “algoritmo de consenso”. Este algoritmo debe especificar la forma en que se determina qué participante agrega el siguiente bloque, considerando que en cualquier momento puedan sumarse o restarse participantes por su propia voluntad y sin requerir registro centralizado, ya que un registro centralizado destruiría toda la descentralización que debe caracterizar al sistema.

El algoritmo de consenso más conocido y el utilizado en el Bitcoin es el concepto de prueba de trabajo (*proof of work*). Sus reglas son sencillas y se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Un bloque se encadena con el previo mediante la incorporación en cada bloque del hash del bloque anterior.
2. Un bloque es válido siempre y cuando el hash calculado sobre él sea inferior a cierto número objetivo. Asimismo, cada transacción dentro del bloque debe ser válida (consistente).
3. Ante la división de la cadena de bloques en dos o más cadenas diferentes, la cadena más larga será la verdadera.
4. Quienes usen sus sistemas para validar y buscar bloques tienen dos incentivos: i) una transacción que genera un nuevo valor que se asigna a una dirección elegida por quien encuentra el bloque y ii) un pago que realiza el creador de una transacción a quien la incorpore en un bloque válido.

El número objetivo de la segunda regla se calcula periódicamente de manera que la dificultad aumenta cuando el promedio de tiempo que pasa entre bloques es inferior al tiempo objetivo y disminuye si dicho promedio es superior al tiempo objetivo. Las consecuencias de estas reglas son varias y relevantes:

1. Si se modificara un bloque existente, inmediatamente se invalidarían todos los bloques posteriores, ya que el *hash* del bloque anterior dejaría de calzar.
2. Encontrar un bloque válido requiere realizar una búsqueda que es intensiva en recursos de cómputo, por lo que la probabilidad de encontrar un bloque aumenta en forma proporcional al poder computacional destinado a su búsqueda.
3. Para buscar un bloque, el bloque anterior debe ser completamente conocido, por lo que no se pueden calcular bloques de manera anticipada.
4. Cualquier intento de defraudar al sistema, en lugar de ser perseguido y penalizado, es simplemente ignorado. Los incentivos se diseñan de manera que es más rentable seguir las reglas que intentar burlarlas.
5. Cualquier entidad puede participar en la creación de nuevos bloques sin necesidad de registro o validación; simplemente comienza a buscar bloques según la información compartida en la red y puede dejar de participar en cualquier momento.

e) Algoritmos de consenso alternativos

El algoritmo de consenso de prueba de trabajo (*proof of work*) ha sido criticado por el gran consumo de electricidad que demanda para realizar tareas que requieren un enorme poder de cómputo y por ser artificialmente difícil. Si bien es necesario alcanzar una cierta masa crítica de participación en el proceso de minería, el algoritmo de prueba de trabajo también recompensa el exceso de energía dedicado, lo que ha llevado a la concentración de la actividad de minería (para obtener economías de escala y capacidad negociadora frente a los generadores eléctricos) y de la fabricación de hardware especializado. De profundizarse, ambos procesos pueden debilitar la confianza en el sistema y su resiliencia⁵.

⁵ Como ejemplo, en el caso de bitcoin, cuando en diciembre de 2017 se cotizaba prácticamente a 20.000 dólares y se generaban 12,5 nuevos bitcoins por cada bloque (en promedio, cada 10 minutos), el sistema de incentivos justificaba un gasto de energía muy superior a los 1.000 millones de dólares mensuales.

Si bien la recompensa predeterminada por bloque es una distorsión que va a incidir menos en el futuro —el valor de la recompensa se reduce a la mitad en cada lapso cercano a dos años—, la crítica por el gasto excesivo de energía inherente al algoritmo de prueba de trabajo sigue siendo válida. Sin embargo, este algoritmo no es la única vía posible para regular la forma de alcanzar el consenso; se han propuesto diversas alternativas, la más completa de las cuales es la prueba de participación. Este concepto, que se podría llamar prueba de compromiso (*proof of stake*), se basa en que quienes participan del sistema por ser dueños de valor en él tienen un incentivo tácito de que el valor representado en el sistema se mantenga. De esa forma, en lugar de usar el poder computacional empleado por un minero para determinar a quién se asigna la generación de un bloque, se considera la cantidad de valor en criptomoneda mantenido por el minero, multiplicado por el tiempo que lo ha mantenido. Una vez generado un bloque, el tiempo que se ha mantenido el valor respectivo vuelve a cero.

f) Contratos inteligentes

Si bien la aplicación más directa de la cadena de bloques es el funcionamiento de una criptomoneda con reglas que se determinan a nivel de la cadena (que tiene como prueba de concepto y caso de éxito a la cadena Bitcoin), el registro de valor asociado a direcciones o cuentas no es lo único para lo que se puede utilizar esta tecnología. Un primer ejemplo interesante de uso más allá de las criptomonedas es el concepto de “monedas coloreadas” (*colored coins*) implementado sobre la cadena Bitcoin, en el cual a una moneda de la menor denominación (de forma que no pueda dividirse) se le asocia un derecho o la identidad de un objeto en el mundo real que más adelante se puede transar con la lógica de la cadena. De esta forma, esa moneda de mínima denominación pasa a ser una ficha virtual a la cual algún custodio asocia el derecho de recibir un bien o servicio contra la demostración de ser efectivamente el controlador de esa ficha virtual en la cadena.

Un caso más general consiste en agregar capacidad de procesamiento a la cadena de bloques, de forma que la lógica y las reglas específicas según las que se usa el valor almacenado en una dirección en particular puedan definirse dinámicamente —aunque, al menos en la implementación más conocida, se pueden definir una única vez— por quien controla esa dirección. De esa forma, cada vez que una dirección recibe una transacción se ejecuta su código asociado y el costo de procesar la transacción, que es proporcional a los recursos computacionales utilizados por los mineros, lo paga el emisor de dicha transacción. Esta forma de complementar valor, lógica y almacenamiento de datos se conoce como “contratos inteligentes” (Szabo, 1996), ya que cumplen con la máxima de que, parafraseando a Lawrence Lessig (2000), “*Code is Law*” y no se requiere de una autoridad externa que se asegure del cumplimiento de los contratos, sino que su autocumplimiento se garantiza mediante la ejecución automática del código de software. La plataforma más conocida que utiliza este concepto en su cadena de bloques es Ethereum, que se examina en la sección A.3.

2. Gobernanza

a) Transparencia y privacidad, llaves públicas y privadas

La tecnología de cadena de bloques es absolutamente transparente por diseño, dado que cualquiera puede participar sin necesidad de contar con llaves de acceso, sino solo usando información públicamente disponible. Además, una de las características destacadas de esa tecnología es la privacidad que ofrece, lo que parecería ser una contradicción. En realidad, la forma en que se consigue privacidad funciona de manera distinta a como opera la lógica del secreto bancario, en el que las transacciones son visibles solamente para las instituciones involucradas, protegiendo así la identidad de las partes.

En el caso de la cadena de bloques, toda transacción queda permanente e inmutablemente registrada en la base de datos distribuida, y se mantiene la historia completa desde la creación de un valor hasta su estado actual. En las transacciones solo se mencionan el par de llaves pública-privada, sin agregar información sobre la identidad de las personas que intervienen. Como consecuencia, no hay forma directa de identificar a la persona que controla una dirección ni los valores asociados a ella. La única forma de usar un valor asociado a un par de llaves es a través de una nueva transacción que solo se puede generar si se conoce la llave privada respectiva.

b) Lógica jurídica frente a lógica booleana

Es importante dimensionar la relevancia de las llaves privadas como única forma de acceder a modificar el estado o valor almacenado en una dirección, ya que tiene consecuencias poco obvias en el contexto de un Estado-nación gobernado por un sistema jurídico occidental, que tiene el poder de regular muchos aspectos de la vida de las personas. Estas diferencias se pueden apreciar en el cuadro II.1, donde se muestra la dicotomía entre el principio del código jurídico y el principio del código de software en el que se basan las transacciones en una cadena de bloques.

Cuadro II.1

Principio de código jurídico frente a principio de código de software

	Derecho	Software
Lógica basada en	Mentes subjetivas, analogías	Lógica booleana, bits
Seguridad	Desacato, prisión	Replicación y criptografía
Predictibilidad	Flexible	Rígida
Madurez	Alta evolución, muchos casos	Larvaria, pocas experiencias
Área geográfica	Silos jurisdiccionales	Independencia de instituciones políticas y financieras, sin fronteras
Costos	Muy altos, por demandas judiciales	Muy bajos

Fuente: N. Szabo, "History of the blockchain", ponencia realizada en DEVCON1, Londres, Ethereum, 9-13 de noviembre de 2015 [en línea] <https://www.youtube.com/watch?v=7Y3fWXA6d5k>.

Al cuadro II.1, que surge de la idea planteada por Lessig (2000), se podría agregar también el ámbito de aplicación porque, como se verá más adelante, no es trivial la interacción entre una cadena de bloques y el mundo real. Mientras que el código jurídico se aplica en todo ámbito del mundo físico dentro de un territorio, la cadena de bloques requiere conectores. También se distinguen por la naturaleza de los entes que interactúan: mientras que en la lógica jurídica las transacciones siempre se dan entre personas específicas, en la cadena de bloques ocurren entre llaves públicas que pueden corresponder a personas, y ser controladas por ellas, pero también por entes sin personalidad jurídica o incluso por simples cosas.

La solución de un problema con las transacciones en una cadena de bloques —la pérdida de una llave privada, resoluciones judiciales, procesos de herencia u otros— no puede implicar la incorporación de modificaciones que no cumplan con las reglas establecidas por la comunidad de mineros de esa cadena en particular. Dado que la naturaleza de una red entre pares (P2P) —como lo es finalmente una cadena de bloques— no tiene ningún vínculo con los silos jurisdiccionales establecidos por los Estados-nación, que una cadena que funciona con normalidad debería tener la mayoría de los mineros fuera de cualquier Estado-nación específico y que los mineros no son identificables directamente, no se vislumbra ninguna forma mediante la cual una cadena podría incorporar en su base reglas que entreguen a un ente central la autoridad de incorporar transacciones que estén por encima de las reglas de los participantes comunes (esto incluye al Poder Judicial y cualquier otra autoridad de un país). Esto ni siquiera lo podría hacer una autoridad mundial de consenso, si llegase a existir algún día.

Sin embargo, no es impensable concebir que la característica que se destaca como intrínseca a un sistema de cadena de bloques —es decir, que no da lugar a interpretación humana, sino que se ejecuta en una secuencia de pasos deterministas que definen el resultado de una transacción— pueda cambiarse de alguna forma en el futuro. Un precedente importante es lo que sucedió con el proyecto *The DAO* en la cadena de Ethereum a mediados de 2016, en el cual el código publicado contenía un error que en definitiva permitió a un tercero apropiarse de la mayoría de los recursos asociados a una dirección (Madeira, 2018). En ese caso se discutió que, dado que había un error de programación, no de la tecnología sino de un contrato inteligente, las transacciones controversiales no correspondían a la intención de los dueños originales de los recursos y se revirtió la asignación de valor a esos dueños, creándose reglas expresamente para ese caso que fueron votadas y aceptadas por más del 50% de los mineros. Si bien es poco probable que una solución de ese tipo se repita en el futuro —el proyecto Ethereum era aún incipiente, con una cantidad de mineros relativamente pequeña y la lista de afectados incluía a muchos miembros influyentes del proyecto—, el episodio asentó que la

determinación de que el código del software vale por sobre la interpretación e intención humanas es más una decisión que una propiedad inalterable de una cadena, y que es posible tomar decisiones lo suficientemente relevantes para una amplia mayoría de mineros definiendo reglas expresas para un caso determinado.

3. La máquina virtual de Ethereum

Si bien la cadena de bloques de Bitcoin permite cierto nivel de programación (*scripting*) para personalizar la forma en que se puede hacer uso del valor almacenado en una dirección, este es intencionalmente limitado para evitar que los mineros se queden ejecutando ciclos que, por error o mala intención, nunca terminarían de ejecutar. En las ciencias de la computación esto se conoce como el problema de la parada (*halting problem*). De esta forma, es posible postergar el uso de un valor hasta que pase un lapso de tiempo (medido en bloques encontrados), exigir determinada cantidad de firmas entre cierto conjunto definido, usar una clave secreta en lugar de una firma con llave privada y otras formas que son relativamente simples de programar sin requerir ciclos o almacenamiento de información en variables. Además, el uso de sistemas como las monedas coloreadas permite aprovechar las optimizaciones que funcionan bien para determinar el gasto de valor, pero dejan de funcionar a los efectos de hacer el seguimiento a una “ficha” determinada.

Una alternativa a ello, que en la actualidad ocupa el segundo lugar de capitalización de mercado de criptomonedas, es la plataforma Ethereum, creada en 2015. Esta cadena de bloques, si bien maneja su propia criptomoneda —Ether (ETH)—, deja, en cuanto a sus reglas, de ser específica respecto del manejo de valor como dinero digital y se convierte en una máquina virtual⁶. Para lograrlo, incorpora el concepto de contrato inteligente y permite asociar código ejecutable, arbitrariamente complejo, a una dirección, y el almacenamiento de variables de forma persistente, que es generado y usado por esos contratos⁷. De esta forma, la cadena de bloques pasa a ser una plataforma genérica sobre la cual se pueden implementar diversas funcionalidades, solo una de las cuales es la creación de criptomonedas⁸. Se crea así un computador mundial ubicuo, de libre acceso y muy bajo costo de operación, tanto para el desarrollo como para la ejecución de aplicaciones.

4. Vínculos con el mundo físico

Cada ejecución de transacción que involucra una dirección asociada a un contrato inteligente debe poder ser validada por todos los mineros en cualquier instante, incluso varios años después de haber sido agregada a la cadena. Eso implica que la ejecución debe ser completamente determinista y usar solo información que está de manera garantizada dentro de la misma cadena. Esto genera el problema de cómo hacer interactuar estos contratos inteligentes con elementos del mundo físico.

La forma de sobrellevar esa limitación es mediante lo que se denomina “oráculos”, que incorporan a la cadena reportes u opiniones sobre eventos del mundo físico, emitidos por partes que realizan esa mediación de forma profesional o *amateur*. Estas partes que informan detalles del mundo físico se utilizan de forma redundante aplicando un sistema de incentivos y reputación. El objetivo es inducir a responder con la verdad y solamente si hay certeza sobre los hechos informados. El vínculo con el mundo físico no se limita al tiempo pasado o presente. Hoy son muchos los modelos y herramientas que pretenden relacionarse con el futuro mediante su predicción o incluso su desempeño. Entre ellos se destaca la inteligencia artificial (en su acepción de aprendizaje de máquina), integrable a soluciones en cadenas de bloques, y los mercados predictivos descentralizados (una especie de casas de apuestas sobre cualquier cosa), para los que se han diseñado plataformas que operan nativamente en cadenas de bloques⁹.

⁶ Si bien tiene cierto valor de cambio, el *ether* es principalmente el medio de prepago (denominado *gas*) para el uso de la Máquina Virtual Ethereum (EVM) y la ejecución de contratos inteligentes.

⁷ Aunque Ethereum fue la primera cadena de bloques en lograrlo y es la predominante, está lejos de ser la única que lo hace. Entre las cadenas similares se destacan la versión china NEO y el proyecto de origen argentino RSK, que utiliza la cadena de Bitcoin. Véanse [en línea] <https://neo.org/>; <https://www.rsk.co/>. Asimismo, existen plataformas de contratos inteligentes que operan sobre redes autorizadas (*permissioned infrastructure*) parcialmente descentralizadas. Entre ellas se destacan Hyperledger y Stellar. Véanse [en línea] <https://www.hyperledger.org/>; <https://www.stellar.org/>.

⁸ Sobre Ethereum corren 70 de las 100 criptomonedas con mayor participación de mercado.

⁹ Entre ellas se destacan Augur, Gnosis y Stox. Véanse [en línea] <http://www.augur.net/>; <https://gnosis.pm/>; <https://www.stox.com/>.

El vínculo inverso, desde la cadena de bloques hacia el mundo físico, es más fácil, puesto que cualquier nodo que tiene la información de la cadena puede servir de puente. De esa forma, es posible programar cualquier dispositivo que forme parte de la Internet de las cosas para que funcione de la forma que especifica un cierto contrato inteligente. Así, ese objeto físico pasa a ser una propiedad inteligente que puede venderse o arrendarse por períodos de tiempo que se representan mediante derechos asignados dentro de un contrato inteligente almacenado en una cadena de bloques.

Otra alternativa es utilizar el tradicional mecanismo de obligación jurídica, generando un contrato en el cual una parte se obliga a entregar un producto o servicio a quien tenga una cierta ficha que representa el derecho sobre el bien o servicio.

5. Redes públicas, privadas y de consorcios

Si bien hasta ahora se ha considerado que toda cadena de bloques es descentralizada en todos los aspectos relevantes, ello es una decisión de diseño. De hecho, existen implementaciones que no siguen esa línea, con lo que se genera una plataforma centralizada en mayor o menor medida, por medio de la definición de quiénes pueden participar y quiénes pueden determinar las reglas de participación. Por lo tanto, se distingue entre las redes públicas (que permiten participar a quien lo deseé, sin siquiera conocer su identidad), las redes privadas (que están bajo el control de un único ente central) y las redes consorciadas (en las que distintas instituciones predefinidas comparten una cadena y las reglas tienden a requerir la participación de más de una institución para agregar nueva información). Tanto en el caso de las redes privadas como en el de las consorciadas, desaparece el papel del minero y el uso de la infraestructura que implica. Por lo mismo, el hardware en el que operan los nodos que las componen es provisto y alimentado por el dueño de la red privada o los miembros de la red consorciada en cada caso. Si bien el nivel de descentralización se pierde, y con ello las ventajas que provee, tiene sentido pensar en cadenas de bloques con un grado de centralización para ciertos usos o agentes. Estas son, por ejemplo, las cadenas preferidas para la optimización de procesos de coordinación en mercados concentrados, incluso cuando son regulados como los de la banca o los mercados de generación y transmisión eléctrica masiva.

6. Escalabilidad

La masificación y el interés público generado por estas tecnologías han aumentado las actividades operativas sobre las redes, en particular de las cadenas de Bitcoin y Ethereum, las dos criptomonedas (aunque la última no se restringe a ese carácter) con mayor capitalización de mercado. Esto ha llevado a alcanzar ciertos límites, por ejemplo, en el tamaño del bloque y, por ende, en la cantidad de transacciones que se pueden procesar por unidad de tiempo, lo que ha suscitado diversas críticas. Otro juicio negativo que se hace con frecuencia, sobre todo al bitcóin, es el alto consumo energético del sistema y que responde esencialmente a los incentivos antes mencionados, así como el tiempo que demora una transacción en ser incorporada a la cadena y quedar validada con bloques posteriores.

Aún no hay soluciones a los problemas de escalabilidad y la tecnología todavía está en proceso de maduración. Lo que sí se puede asegurar es que ninguno de estos problemas es inherente al concepto de cadena de bloque; se han propuesto estrategias que están en proceso de ser validadas antes de su incorporación definitiva a las cadenas de bloque y de formar parte de su ambiente de producción. Ejemplos relevantes son los canales de pago, como la red Lightning para bitcóin (Poon y Dryja, 2016) y Plasma para Ethereum, propuestas que no agrupan las transacciones en bloques ni realizan las confirmaciones transacción por transacción (Popov, 2017).

B. Los nuevos recursos disruptivos

Entonces, ¿en qué se traduce todo lo expuesto? ¿cuáles son las herramientas disruptivas que esta nueva forma de hacer las cosas pondría a disposición de la sociedad? A continuación, se esbozan algunas de ellas y se identifican los sistemas u órdenes que transformarán radicalmente.

1. Características de los registros

Una de las grandes ventajas de la tecnología de cadena de bloques es que sus registros son inmutables, indestructibles e incensurables y están siempre disponibles para su consulta, desde cualquier lugar. El acopio y la custodia de información, que siempre han sido temas delicados y de difícil manejo, son cada vez más relevantes. La integridad y el correcto manejo de los registros son fundamentales para múltiples procesos públicos y privados, incluidos los procesos contables.

En la medida en que la contabilidad es el lenguaje de los negocios, condiciona la representación del mundo de quien lo habla. La contabilidad de doble entrada refleja y se estructura en torno a un hecho económico: que no existe deudor sin acreedor. Esa simetría llevada a las cuentas internas de un negocio implica que cada movimiento requiere la anotación en dos cuentas, en una como débito y en otra como crédito. Este método permite detectar errores de escritura, dificulta las adulteraciones y vincula las diferentes cuentas.

Con la tecnología de cadena de bloques, ahora se dispone de un superrecurso: registros inalterables construidos en tiempo real, siempre disponibles para su consulta. Cuando ese recurso se incorpora al proceso, ese registro se caracteriza como una tercera columna contable. De esta se puede extraer información irrefutable para cualquier proceso de análisis y visualización, incluidos los heredados de la contabilidad tradicional. En realidad, no se agrega una tercera columna, sino que esa columna bien puede reemplazar a las dos anteriores. Se lo conoce como sistema de contabilidad de triple entrada.

El impacto en la contabilidad va más allá. Con los métodos tradicionales, al darse una transacción entre agentes comerciales, sus respectivas anotaciones deberían ser simétricas: si una consigna una acreencia, la otra debería anotar una deuda por igual monto. Si por error o por dolo, un acreedor exigiera el pago de un monto mayor, el comerciante consultará su propia contabilidad y la documentación de soporte. Si el acreedor insiste, se tratará un conflicto entre una contabilidad y la otra y entre una documentación de soporte y la otra, lo que requiere de la existencia de un tercero que lo resuelva, habitualmente el Poder Judicial. No obstante, como se verá más adelante, las partes pueden compartir la tercera columna, con lo que se crea una verdad irrefutable para ambas. Con ello se elimina este tipo de conflictos y la necesidad de acudir a un tercero que los dirima.

2. El control del doble gasto

Si se pudiese garantizar que solo el titular pudiera disponer de lo propio y solo pudiera enajenarlo una única vez, buena parte de las defraudaciones conocidas serían imposibles. Esto es lo que logra la tecnología de cadena de bloques, aunque a su modo: la titularidad de lo transado se reduce a la tenencia de la llave privada, traspasando así la responsabilidad de su cuidado y buen uso a quien la generó. Por otra parte, la imposibilidad de disponer dos veces de algo está garantizada, ya que la consistencia histórica de los registros es la fuente de validación de las transacciones en el sistema.

Imposibilitar el doble gasto puede parecer poco significativo en las transacciones de bienes físicos, pero otra cosa es lo que sucede en el mundo de los títulos de crédito y valores, y mucho más en el mundo digital, donde uno de los principales atributos es la no degradación de la información cuando se replica: la copia es idéntica al original. La solución dada hasta ahora a este problema fue la tradicional de la intermediación por agentes de confianza: un tercero centraliza y administra la información, sus registros son los que establecen quién tiene qué o cuánto, y él es quien establece las reglas para su modificación. Si se trata de mercados

regulados, como el del dinero, los gobiernos también participan de este ejercicio. Al dotar de atributos propios de bienes materiales a entes digitales representativos de valor y eliminar intermediarios en su transacción, esta tecnología altera un proceso de larga evolución y profundo impacto.

En un modelo de banca tradicional, el agente de confianza (el banco) controla el doble gasto del resto de los agentes, pero se lo permite a sí mismo. Este es el fundamento del sistema bancario de reserva fraccional o de encaje, e implica un riesgo inherente de corridas o pánico financiero, por lo que su operación arrastra un compromiso inevitable de la fe pública. Esta característica justifica y motiva buena parte de la regulación bancaria estatal, incluida la concesión de la exclusividad del negocio bancario a los tenedores de licencias estatales. El eficaz control del doble gasto por la tecnología de cadena de bloques hace innecesarios muchos resguardos propios de sistemas que carecen de él. Igualmente, implica una incompatibilidad del modelo de banca fraccional con la “tokenización” del dinero fiduciario¹⁰. En diversos países se están explorando alternativas en este sentido¹¹.

3. Bases de datos distribuidas y colaborativas en tiempo real

Un cúmulo de información es valioso por se, pero es aún mucho más valioso para quien desempeña el papel de agente de confianza que determina alguna verdad oficial en virtud de ella. Por lo mismo, su integridad y exactitud requieren protección. Hasta ahora, la estrategia de base ha sido establecer un perímetro de seguridad que, en teoría, impida el acceso de terceros al registro y asegurar que quienes tienen privilegios de acceso y escritura se comporten de un modo probo y diligente. Incluye también la existencia de canales seguros de comunicación (muchas veces dedicados) entre el agente de confianza y todo sujeto que interactúe con él consultando un registro o solicitando una anotación. Esto es válido tanto para registros en papel como en bases de datos SQL gestionadas en la nube¹².

El acopio de información fidedigna en bases de datos distribuidas altera completamente el escenario, puesto que deposita la confianza acerca de la integridad de la información en el propio sistema, con lo que se vuelven innecesarios el agente de confianza que la valida y su aparato de seguridad. Traslada así los desafíos de seguridad a otro ámbito, a la interacción entre bases de datos y sistemas centralizados y la cadena de bloques, que es donde han sucedido todos los hackeos y desfalcos asociados a la criptoeconomía.

Como se vio anteriormente, el sistema de par de llaves pública y privada permite compatibilizar la transparencia con la privacidad, por lo que la acumulación de información de libre acceso no es a costa de esta última. A ello se suma un par de superherramientas que refuerzan este último atributo: i) los sistemas de gestión soberana de la identidad, que permiten vincular la información a un individuo, pero conservando el control y uso en manos de este¹³, y ii) los mecanismos zk-SNARK de comprobación de no manipulación de un documento encriptado sin necesidad de desencriptarlo, que permiten, por ejemplo, compartir información de mercado con un competidor, pero mantener oculto cualquier contenido sensible, que igualmente se acumula y distribuye en el mismo sistema de uso público¹⁴. Un ejemplo es la estrategia comercial implícita en algunos contratos inteligentes.

De este modo, hay un nuevo paradigma para la construcción y consulta de información, configurado en torno a la propagación de información ciega que se hace pública y a la sincronización de registros comunes mediante pulsos generados por los mineros y el rítmico empaquetamiento y concatenación de bloques de transacciones que ejecutan. Así, la información consolidada está disponible íntegramente casi en tiempo real para todo aquel que quiera consultarla, permitiendo la ejecución de procesos autónomos

¹⁰ Los dos modelos se podrían compatibilizar si el Estado autorizara a los bancos a crear dinero fiduciario, no ya desde el uso y circulación del que poseen, sino acuñando nueva moneda, generando y liberando fichas (*tokens*) a nombre del Estado, con garantía total de este. En este contexto, destaca la propuesta de una banca con un sistema de reserva del 100%, en particular la Iniciativa Vollgeld, el proyecto suizo que la promueve. Véase [en línea] www.vollgeld-initiative.ch/english/.

¹¹ Se destacan el proyecto Ubin en Singapur y los anuncios de prontas implementaciones relevantes en la Federación de Rusia y la India. Véase Autoridad Monetaria de Singapur, “Project Ubin: central bank digital money using distributed ledger technology” [en línea] <http://www.mas.gov.sg/Singapore-Financial-Centre/Smart-Financial-Centre/Project-Ubin.aspx>.

¹² El SQL es un lenguaje de consulta estructurada, que permite la gestión de bases de datos relacionales.

¹³ Véase uPort [en línea] www.uport.me.

¹⁴ Véase C. Reitwiessner, “zkSNARKs in a nutshell”, Ethereum, 5 de diciembre de 2016 [en línea] <https://blog.ethereum.org/2016/12/05/zksnarks-in-a-nutshell/>.

de integración de sistemas complejos sobre su propia marcha, lo que puede optimizar un gran número de procesos. Asimismo, da soporte y viabilidad técnica a conceptos como las ciudades inteligentes y la Internet de las cosas.

También repercute en el sentido y alcance de los procesos de auditoría, la que pasa de ser un proceso de análisis *ex post* del tratamiento de transacciones tomadas al azar, apostando a la representatividad estadística de una muestra, al examen exhaustivo de los contratos inteligentes y otros elementos de programación que automatizan una gestión. De ese modo, aumenta la confianza en la correcta ejecución de lo programado, la adecuada visualización del total de las transacciones efectuadas en tiempo casi real y, eventualmente, los sistemas de alerta de anomalías tan pronto y cada vez que estas se presenten.

4. Los contratos inteligentes

Lograr la desintermediación en el tráfico económico, más allá de la transferencia de valor fue uno de los grandes objetivos de los creadores de la tecnología de cadena de bloques. Existe una herramienta jurídica importante en los llamados contratos inteligentes: las instrucciones notariales.

En un mundo centralizado se presentan con frecuencia saltos de confianza difíciles de resolver entre las partes. Por ejemplo, en la compraventa de un inmueble, donde el comprador solo está dispuesto a pagar por él una vez que esté inscrito a su nombre en el registro correspondiente, mientras que el vendedor solo está dispuesto a inscribirlo cuando haya recibido el pago. Ese dilema se resuelve habitualmente acudiendo a alguien que dé confianza a ambos (un notario), a quien se le entrega el monto comprometido para que se lo entregue al vendedor cuando demuestre haber hecho la inscripción. Un contrato inteligente permite reemplazar al notario por una cadena de bloques.

La complejidad de la programación de un contrato inteligente varía. En algunos casos implica incorporar una regla o condición sencilla (el cumplimiento de un plazo o constatar una anotación), pero en otros podrá considerar la articulación de un modelo de negocios completo. El único límite es la disposición de quien lo genera a pagar el precio de ejecutar ese conjunto de instrucciones, conocido como *gas* (denominación coloquial de la gasolina). El gas de la red Ethereum es el *ether*, libremente transable. Así, se vincula a quien usa el supercomputador distribuido con quienes ofrecen el hardware y la energía eléctrica que consume el proceso, los mineros. De esta forma se crea un calce formalmente exacto entre costo y remuneración.

Como resultado, es posible reemplazar complejas estructuras empresariales, sistemas completos, por un simple código, llevando así la desintermediación a otro nivel. Se trata además de un código que se autoejecuta y que está alojado en la cadena de bloques, por lo que su integridad y estabilidad están garantizadas. Combinando los elementos, esta tecnología lleva la automatización a otro nivel¹⁵. Por ejemplo, es posible lograr la desintermediación automática del crédito privado¹⁶ (préstamo entre particulares), que anula el diferencial (spread), en beneficio de los intervenientes, al igual que es posible la automatización de sistemas de seguros, donde el costo de la prima es finalmente idéntico a la distribución del costo del total de siniestros entre todos los asegurados (con o sin factores de corrección), sin recargo ni necesidad de compañía aseguradora tradicional alguna¹⁷.

5. Nuevos modelos de capitalización de las empresas

a) Las organizaciones autónomas distribuidas (DAO)

Habitualmente, cuando una empresa o proyecto busca recaudar capital, hace una oferta de inversión a potenciales accionistas que incluye la determinación de los planes para el uso de los recursos, los derechos

¹⁵ Las aplicaciones autónomas que funcionan sin intervención humana se denominan "aplicaciones descentralizadas" (*Dapps*).

¹⁶ Véanse Lendoit [en línea] <https://lendoit.com/>; Celsius [en línea] <https://celcius.network/>.

¹⁷ Véase Dynamis [en línea] <http://www.dynamisapp.com/>.

que implica la inversión (como la elección de un director entre los participantes de la ronda), la determinación de la meta mínima de recaudación e información acerca de los estatutos y la estructura de administración de la empresa, así como también sobre las expectativas de retorno de la inversión, ofreciendo eventualmente garantías. Si se llega a un acuerdo, se inicia el proceso de diligencia debida, al que suelen suceder nuevas instancias de negociación. Si se ha cumplido la meta de recaudación, se pasa a la documentación notarial y solo después se ingresa a la etapa de incorporación del accionista y recepción del capital por parte de la empresa.

Si se recibiera una oferta similar, pero expresada en un conjunto de contratos inteligentes que determinan con precisión el destino de los recursos, los derechos políticos y económicos que se desprenden de la inversión y todas las condiciones establecidas para su ejercicio, la suscripción (mediante pago) de esos contratos inteligentes, en un número mayor al establecido como meta mínima, activa en forma automática la puesta en marcha de la empresa. Más exactamente, el conjunto de contratos inteligentes que regula la organización del capital son la empresa; son un tipo especial empresa: una organización autónoma distribuida.

Este concepto fue lanzado e implementado en 2016 en ocasión del proyecto Slock.it, cuyo gran éxito llevó a sus creadores a lanzar prontamente el proyecto *The DAO*, que buscaba extender el concepto a un fondo de inversión en empresas distribuidas¹⁸. Sin embargo, como ya se señaló, un error de programación en uno de sus contratos inteligentes generó problemas. El episodio contaminó el nombre (más precisamente la sigla), pero el concepto se mantiene sólido.

b) La oferta inicial de criptomonedas (ICO)

La posibilidad que otorga un sistema de confianza cero —como la cadena de bloques— de interactuar fácilmente y de modo seguro con grandes universos de sujetos en el mundo, combinada con la flexibilidad y certeza que aportan los contratos inteligentes, ha permitido no solo articular eficientes mecanismos de financiamiento colectivo, sino también redefinir el papel que puede desempeñar el capital en una organización productiva.

Las sociedades de capital (en particular, las sociedades anónimas) son instancias de creación y captura de valor en beneficio de sus propietarios, diseñadas con el fin de maximizar sus retornos. Esto no se ajusta del todo a la lógica ni a los modelos de negocios propios de las cadenas de bloques y de la economía distribuida. Tal inconsistencia radica en que la legítima demanda de retorno de la inversión, cuando es significativa, inhibe, o al menos dificulta, el traspaso a los agentes finales de los ahorros de la desintermediación o automatización. Esta presión se traduce en modelos de negocios concentradores o basados en la intermediación.

Una alternativa es financiar un proyecto, no mediante el financiamiento de un socio inversionista, sino mediante la venta anticipada de los servicios que aún no existen, pero que se espera que existan tras el desarrollo del proyecto. Estas expectativas respecto de los servicios se “tokenizan” y ofrecen con la esperanza de venderlos en número suficiente para financiar el proceso. Estos criptoactivos son, como toda ficha virtual transferible (*token*), libremente transables, lo que permite la especulación respecto de su valor. Aparte de recaudar financiamiento, el modelo garantiza el inicio del uso de la solución o el servicio apenas los fondos estén disponibles. También impulsa el compromiso de una masa crítica de usuarios que activa externalidades de red, lo que mejora el pronóstico de éxito del proyecto. De este modo, se puede articular una empresa que absorbe costos de desarrollo sin requerir de un gran capital que demande utilidades.

Un problema es que la generación de fichas virtuales transferibles estandarizadas es uno de los procesos más simples que se pueden realizar en plataformas como Ethereum. Por otra parte, hay muchas personas dispuestas a comprar sin entender ni discriminar lo que se les ofrece, así como otras que ven la oportunidad de abusar. Como las representaciones de valor son idénticas, por diferente que sea lo representado, se confunden ventas de participación en empresas, ventas de eventuales servicios futuros, ventas de unidades de valor en sistemas de pago y “venta de humo”, todo bajo el rótulo de oferta inicial de criptomonedas (ICO). Al igual que en el caso de las organizaciones autónomas distribuidas (DAO), la denominación es inexacta. Hoy soporta cierta carga negativa y su sentido ha cambiado, pero el concepto inicial se mantiene sólido.

¹⁸ Véase proyecto Slock.it [en línea] <https://slock.it/>.

C. Una tecnología abierta para América Latina y el Caribe

El concentrador de información y portador de verdades oficiales por autonomía es el Estado, con la burocracia como su sistema de administración. Sin embargo, las reglas y los subentendidos bajo los que opera la tecnología de cadena de bloques no son del todo compatibles con los del Estado-nación. Más específicamente, se trata de una realidad que ignora algunos de sus efectos (como la existencia de silos jurisdiccionales) y que puede despojar al Estado de valiosos y acostumbrados recursos de control e intervención en los procesos sociales, políticos y económicos que suceden en su territorio o que repercuten en la población. Cuestiona o desafía el monopolio del Estado de la fuente de legitimidad normativa, el monopolio de la provisión de servicios públicos o de gobierno y la necesidad de correspondencia y calce de un orden normativo (y único) con un territorio estatal. En esta línea, resulta particularmente atractivo y esclarecedor el trabajo realizado por Bitnation, que explora estos cambios de paradigma¹⁹. Se trata de una realidad desconcertante para los Estados, pero que se debe analizar, asumir e internalizar con prontitud. Entre otras cosas, porque también es fuente de poderosos nuevos instrumentos para la gestión pública, que sería oportuno aprovechar.

La irrupción de esta tecnología de cadena de bloques trae aparejadas oportunidades para América Latina y el Caribe. Una primera buena coincidencia es que, a diferencia de otros ámbitos tecnológicos, no hay ningún impedimento para asumir el desafío en la región. Las lógicas de esta tecnología se han traspasado a la comunidad que la construye. Así, su desarrollo se efectúa de un modo distribuido y descentralizado, lo que implica que no hay un centro en el que sucede todo, al punto que suponga una desventaja no estar ahí, como ha sido la constante del desarrollo de otras tecnologías. En este campo no abundan las lógicas de captura respecto de los avances logrados ni de los conocimientos que los permitieron. No solo hay libre acceso a los códigos, sino que también hay acceso a recursos de aprendizaje de altísimo nivel y en continua evolución.

Por otra parte, es una tecnología que no requiere de grandes inversiones en equipamiento o instalaciones. De hecho, la plataforma Ethereum, por sus particularidades, se presenta como un sistema de infraestructura cero; el hardware y la energía necesarios se generan, se hacen disponibles y remuneran de un modo también autónomo. Solo se requiere capacitación y esfuerzo humano y grandes cuotas de decisión. Por lo mismo, los costos de desarrollo son comparativamente bajos y abordables por cualquiera de los países de la región.

Además, las fortalezas técnicas de la cadena de bloques permitirían reducir las fragilidades o amenazas que se ciernen sobre varios Estados de la región, como la corrupción, la fragilidad de la fiscalización y la dificultad para recaudar impuestos²⁰. En este contexto, la implementación de registros inmutables tendría un gran impacto positivo en la trazabilidad del gasto público o en los sistemas registrales, al igual que la puesta en marcha de procesos autoejecutables y de autofiscalización normativa mediante contratos inteligentes.

La región cuenta con recursos para estos fines. Existen comunidades activas de emprendedores y desarrolladores de cadena de bloques en la Argentina, el Brasil, Chile, Colombia, México, Nicaragua y Venezuela (República Bolivariana de), y equipos de minería en casi todos los países (estos están muy expandidos, sobre todo en la Argentina, Chile, México y la República Bolivariana de Venezuela). Por otra parte, ha aumentado el interés en esta tecnología y sus alcances, lo que se refleja en una mayor frecuencia de actividades de estudio y difusión, así como de experiencias iniciales de uso. México es señero en su promoción mediante programas específicos y la formulación de regulación ad hoc²¹.

En resumen, la tecnología de cadena de bloques altera capas profundas del sentido común y de la operación de la economía, y tiene, por lo mismo, un enorme potencial transformador. La región está en el momento adecuado para incorporarse a ese proceso modernizador.

¹⁹ Véase Bitnation [en línea] <https://bitnation.co/>.

²⁰ Por ejemplo, la Secretaría de la Función Pública de México y la organización Transparencia Mexicana tienen el objetivo de crear un *token* para vigilar los recursos públicos destinados a procesos electorales, tarea que se realiza en cooperación con instituciones del Brasil y de Colombia. Véase Z. Salgado, "Se realizó con éxito el 'Panel Blockchain: Aplicaciones de Blockchain en México'", *Criptonoticias*, 25 de febrero de 2018 [en línea] <https://www.criptonoticias.com/eventos-realizo-exito-panel-blockchain-aplicaciones-blockchain-mexico/>.

²¹ El 12 de marzo de 2018, la Coordinadora de la Estrategia Digital Nacional de México señaló que se seguirá "impulsando el empleo de tecnologías emergentes como Blockchain con dos casos de uso en proceso de implementación: contrataciones inteligentes y certificados de depósito de garantía, mecanismos innovadores de registros de transacciones de forma distribuida y trazable". Véase Y. Martínez, "Compartimos los avances y retos de la Estrategia Digital en el Foro OCDE México 2018", Ciudad de México, Gobierno de México, 12 de marzo de 2018 [en línea] <https://www.gob.mx/mexicodigital/articulos/compartimos-los-avances-y-retos-de-la-estrategia-digital-en-el-foro-ocde-mexico-2018>.

Bibliografía

- Elliott, F. (2009), "Chancellor Alistair Darling on brink of second bailout for banks," *The Times*, Londres, 3 de enero [en línea] <https://www.thetimes.co.uk/article/chancellor-alistair-darling-on-brink-of-second-bailout-for-banks-n9l382mn62h>.
- Lessig, L. (2000), *Code and Other Laws of Cyberspace*, Nueva York, Basic Books.
- Madeira, A. (2018), "The DAO, the hack, the soft fork and the hard fork," Londres, CryptoCompare, 28 de febrero [en línea] <https://www.cryptocompare.com/coins/guides/the-dao-the-hack-the-soft-fork-and-the-hard-fork/>.
- Poon, J. y T. Dryja (2016), "The Bitcoin Lightning Network: scalable off-chain instant payments," enero, inédito [en línea] <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>.
- Popov, S. (2017), "The tangle," IOTA Foundation, octubre [en línea] https://iota.org/IOTA_Whitepaper.pdf.
- Szabo, N. (1996), "Smart contracts: building blocks for digital markets," *Extropy*, Nº 16, Extropy Institute, [en línea] http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html.



CAPÍTULO

III

Una economía y una sociedad basadas en plataformas digitales

Introducción

- A. Definiciones
- B. Tipologías
- C. Caracterización de los ecosistemas
- D. Determinantes del desarrollo de los ecosistemas de plataformas
- E. Recomendaciones de política

Bibliografía

Introducción¹

El crecimiento de Internet y de otras tecnologías digitales ha sentado las bases para el surgimiento de una gran diversidad de plataformas digitales en diferentes regiones del mundo. Estas plataformas permitieron el desarrollo de nuevos modelos de negocios y la diversificación de la oferta de bienes y servicios.

Las plataformas digitales están presentes en múltiples sectores económicos. Amazon, Alibaba, eBay, Taobao y Rakuten facilitan transacciones entre compradores y vendedores de comercio electrónico; Airbnb conecta propietarios de viviendas con inquilinos; Uber pone en contacto conductores con pasajeros para viajes urbanos; Facebook vincula usuarios entre sí y con anunciantes, desarrolladores de contenidos y sitios afiliados de terceros; iOS de Apple une a desarrolladores de aplicaciones con sus usuarios; Android de Google pone en comunicación fabricantes de dispositivos, desarrolladores de aplicaciones y usuarios; las consolas PlayStation de Sony y Xbox de Microsoft facilitan interacciones entre desarrolladores de juegos y usuarios; American Express, Paypal y Square conectan comerciantes con consumidores para pagos electrónicos; Ticketmaster vincula espacios para eventos con consumidores (Hagiw, 2014). Del mismo modo, Kickstarter conecta emprendedores con financiadores y Upwork conecta profesionales independientes con clientes.

Las plataformas digitales son importantes actores de la economía de Internet: las cinco primeras empresas en la clasificación mundial según la capitalización de mercado en 2017 —Apple, Google/Alphabet, Microsoft, Amazon y Facebook— eran empresas de plataforma (KPCB, 2017). Las plataformas realizan importantes contribuciones a la economía, pues crean nuevas conexiones entre oferta y demanda de bienes o servicios en diferentes mercados, contribuyen a aumentar la eficiencia en la utilización de activos y abren oportunidades de negocios y mejora de la productividad para las empresas, incluidas las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes). También son importantes fuentes de innovación. Por ejemplo, de acuerdo con Evans y Gawer (2016), nueve plataformas digitales originadas en los Estados Unidos recibieron 11.585 patentes en 2014. Al introducir nuevos productos, servicios y modelos de negocios, se han convertido en un factor de disruptión en sectores tan disímiles como el transporte, el alojamiento, la banca, la educación y los medios de comunicación.

El Center for Global Enterprise realizó una encuesta a 176 empresas de plataforma representativas en cinco continentes y encontró que su valor total excedía 4,3 billones de dólares (Evans y Gawer, 2016). Su concentración en los Estados Unidos y Asia era mucho mayor que en otras regiones, como América Latina. Mientras los Estados Unidos son el país de origen de 64 plataformas con un valor de mercado de 3,12 billones de dólares (72% del valor de las plataformas encuestadas) y Asia es la región de origen de 82 plataformas con un valor de 930.000 millones de dólares (22% del valor global), en América Latina y África (analizadas de manera conjunta en ese estudio) se crearon solo 3 plataformas, cuyo valor representa apenas el 2% de la muestra.

A. Definiciones

De acuerdo con Accenture (2016), una plataforma digital es un modelo de negocios habilitado por la tecnología que crea valor al facilitar intercambios entre dos o más grupos interdependientes. Generalmente conectan usuarios con productores, facilitan la realización de transacciones y permiten a las empresas compartir información para fortalecer la colaboración o la innovación en productos y servicios. Según el Foro Económico Mundial (2017), las plataformas son modelos de negocio habilitados por la tecnología que crean valor mediante la facilitación de intercambios e interacciones. Estas plataformas se construyen sobre infraestructura compartida e interoperable, son intensivas en datos y se caracterizan por las interacciones entre diferentes grupos de usuarios.

Muchas de las plataformas digitales tienen una característica común: permiten el desarrollo por terceros de sistemas complementarios que pueden ofrecerse a los usuarios finales como aplicaciones o servicios. Al respecto, De Reuver, Sorensen y Basole (2017) señalan que las tecnologías digitales utilizadas por las plataformas

¹ Este capítulo fue escrito por Guillermo Cruz, Consultor de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

incorporan elementos específicos, como la homogenización y la facilidad de edición de la información, y capacidades de reprogramación, desagregación y autorreferencia. Estas características facilitan arreglos tecnológicos en los que no existe una única parte que posee la plataforma y define su jerarquía de diseño. En este contexto, se plantean dos definiciones de plataformas digitales. Desde el punto de vista técnico, son una base de código sobre la que pueden añadirse módulos complementarios de terceros. Desde el punto de vista sociotécnico, son un conjunto de elementos técnicos de software y hardware, incluidos los estándares y procesos organizacionales asociados. Por lo general, una plataforma digital incorpora módulos que extienden la funcionalidad de un software y pueden considerarse subsistemas de software añadidos bajo la forma de aplicaciones diseñadas y desarrolladas por terceros.

Las organizaciones económicas internacionales también han analizado el concepto y las características de las plataformas digitales. En 2010, la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) propuso una definición de intermediarios de Internet estrechamente relacionada con el concepto de plataformas digitales, según la cual conectan o facilitan las transacciones entre terceras partes en Internet, al tiempo que dan acceso, alojan, transmiten e indexan contenidos, productos y servicios originados por terceras partes sobre Internet o proveen servicios basados en Internet a terceras partes. Por otra parte, en una consulta pública realizada en 2015, la Comisión Europea (2016) propuso la siguiente definición: una empresa que opera en mercados bilaterales o multilaterales y utiliza Internet para habilitar las interacciones entre dos o más grupos interdependientes de usuarios para generar valor para al menos uno de ellos. Según la Comisión Europea, si bien no hay consenso sobre la definición de las plataformas digitales, muchas de estas comparten seis características:

- i) Capacidad para facilitar y extraer valor de las interacciones directas o de las transacciones entre usuarios.
- ii) Habilidad de recolectar, utilizar y procesar grandes cantidades de información personal y no personal para optimizar el servicio y la experiencia de cada usuario (economías de alcance).
- iii) Capacidad de construir redes en las que la adición de un usuario mejora la experiencia de los usuarios existentes (efectos de red).
- iv) Habilidad de crear y modelar nuevos mercados en arreglos más eficientes que generan beneficios para los usuarios y pueden crear disruptores para los actores tradicionales.
- v) Habilidad de organizar nuevas formas de participación civil basada en la recolección, el procesamiento y la edición de información.
- vi) Uso de las tecnologías de la información como medio para alcanzar todo lo anterior.

Los principales atributos que caracterizan a las plataformas digitales y las diferencian de otros sistemas tecnológicos son:

a) Interdependencia

La mayoría de las plataformas digitales afilan a grupos específicos de usuarios y les ofrecen la posibilidad de interactuar y realizar transacciones con grupos diferentes, igualmente afiliados. Las interacciones de los grupos de usuarios generan relaciones de interdependencia. Según la Comisión Europea (2016), estas pueden existir entre distintos tipos de usuarios, como: i) productores y consumidores de bienes, ii) anunciantes y lectores, iii) vendedores y compradores, iv) buscadores de empleo y reclutadores, v) proveedores y buscadores de alojamiento, y vi) transportistas y pasajeros. Así, la demanda de un grupo de usuarios se relaciona con la oferta de otros grupos.

b) Efectos de red

Los efectos de red hacen referencia al efecto de un nuevo usuario de un bien o servicio en el valor de dicho bien o servicio para los demás usuarios, existentes o potenciales. Una característica de las plataformas

digitales es la existencia de efectos de red: su valor depende directamente de la cantidad de usuarios que tengan en sus diferentes categorías.

La Comisión Europea (2016) distingue entre efectos de red directos e indirectos. Los efectos directos se producen cuando un nuevo usuario de la plataforma genera un efecto positivo en el valor de uso de la plataforma para otros usuarios en el mismo grupo (por ejemplo, los usuarios de redes sociales, como Facebook). Los efectos indirectos operan cuando la existencia de nuevos usuarios de un grupo en la plataforma genera beneficios para los usuarios de otro grupo (por ejemplo, los vendedores en una plataforma de comercio electrónico se benefician cuando aumenta el número de compradores y viceversa).

Los efectos de red indirectos son una característica relevante de la mayoría de las plataformas digitales. Estos efectos son generalmente asimétricos, pues un grupo de usuarios se puede beneficiar más que otro. Las asimetrías suelen ser pequeñas en el caso de los mercados de comercio (más vendedores se benefician de más compradores y viceversa) y mayores en el de las plataformas basadas en publicidad (los anunciantes se benefician de una gran cantidad de consumidores, pero los consumidores no necesariamente se benefician directamente de la existencia de una gran cantidad de anunciantes).

Los efectos de red, directos e indirectos, determinan la importancia de alcanzar una masa crítica de usuarios en los diferentes lados de la plataforma. Por esta razón, para superar los problemas derivados de fallas de coordinación (los usuarios potenciales de un grupo A encuentran atractivo entrar a la plataforma si existe una cantidad mínima de usuarios de un grupo B y viceversa), al inicio las plataformas implementan estrategias para motivar a los usuarios de diferentes grupos a unirse a ellas. Así, algunas plataformas implementan subsidios cruzados mediante los que ofrecen servicios sin costo a determinados grupos de usuarios (Comisión Europea, 2016).

c) Economías de escala y alcance en los datos

A medida que aumenta el número de usuarios, las plataformas pueden recopilar mayores cantidades de datos personales y no personales, que pueden tener un gran valor. Mediante instrumentos analíticos, pueden utilizar los datos para satisfacer de mejor manera las preferencias de sus consumidores, optimizar sus procesos de negocio, reducir costos y descubrir tendencias de mercado y oportunidades. De esta manera, algunas plataformas pueden beneficiarse de la utilización de grandes datos debido a las economías de escala (volumen de los datos) y de alcance (variedad de los datos) asociadas con la recolección y el análisis de información (Comisión Europea, 2016). La información compartida puede ser procesada de manera inteligente por especialistas, incluidos los de industrias conexas, para crear nuevas formas de valor, como aplicaciones o servicios complementarios (Accenture, 2016).

d) Confluencia de tecnologías

En los últimos años, las plataformas digitales surgieron en un ambiente tecnológico dinámico, caracterizado por la confluencia de múltiples tecnologías como computación en la nube, grandes datos, inteligencia artificial y la Internet de las cosas. Según Accenture (2016), esta concurrencia de tecnologías crea una nueva economía de servicios en la que estos pueden ser dinámicos, determinados por la demanda y personalizados. Las nuevas tecnologías tienen efectos igualmente importantes en el costo de provisión, los niveles de inversión y la velocidad para llegar al mercado. Debido a que los servicios integran modelos de negocios, de software e infraestructura y se ofrecen "según demanda", las empresas se pueden beneficiar de servicios fáciles de implementar, modulares y escalables.

e) Conexión única (*singlehomming*) y multiconexión (*multihoming*)

Los consumidores pueden usar una o más plataformas para un mismo propósito. Los usuarios con conexión única utilizan una sola plataforma para un determinado fin y, por eso, interactúan solo con los usuarios de esa plataforma (por ejemplo, los usuarios de un único sistema operativo en un dispositivo determinado). Por otra

parte, los usuarios con multiconexión utilizan dos o más plataformas para un mismo propósito e interactúan con los usuarios de las diferentes plataformas a las que acceden (por ejemplo, los usuarios con más de una tarjeta de crédito). Las plataformas interesadas en desarrollar modelos comerciales de conexión única procura que sus usuarios dediquen el mayor tiempo posible a esa plataforma y generalmente buscan convertirse en ecosistemas en sí mismos, en los que la experiencia del usuario es relevante (Comisión Europea, 2016).

f) Control y gestión del riesgo

Muchas plataformas facilitan transacciones entre vendedores y compradores sin tener el control total sobre la provisión de los respectivos bienes o servicios. La falta de control sobre las transacciones, que distingue a las plataformas de los negocios tradicionales, genera riesgos que las plataformas deben gestionar. En general, sus operadores son conscientes de que, si desean atraer usuarios, deben ofrecer un ambiente de transacciones seguro que ayude a mitigar los riesgos. En este sentido, los operadores suelen ocuparse de la gestión de los riesgos mediante estrategias de autorregulación basadas en códigos de conducta, opiniones de usuarios, control *ex ante* de las credenciales de los proveedores, protocolos de solución de controversias, sistemas de aseguramiento y bloqueo o filtrado de contenidos, entre otras (Comisión Europea, 2016).

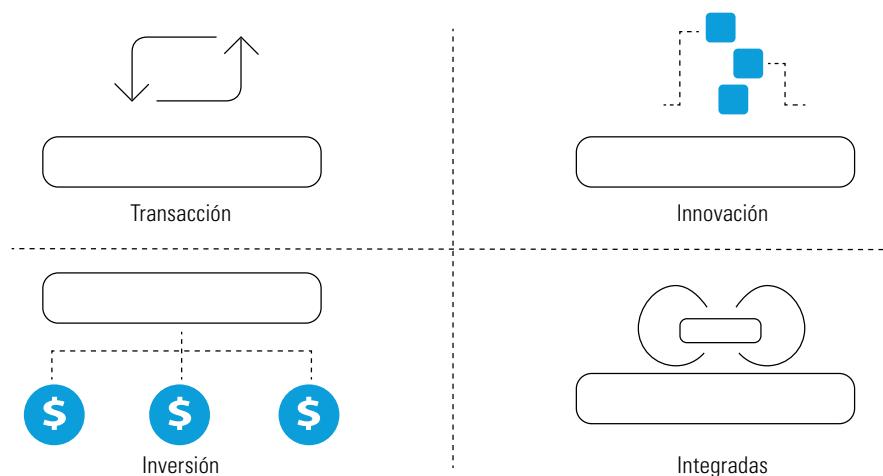
B. Tipologías

Tres importantes tipologías de plataformas digitales son: la clasificación realizada por el Center for Global Enterprise, la tipología elaborada por la Comisión Europea y la clasificación basada en la perspectiva de las empresas propuesta por la empresa consultora Oxera.

1. Clasificación del Center for Global Enterprise

De acuerdo con el Center for Global Enterprise, las plataformas tienen dos mecanismos para crear valor (véase el diagrama III.1). El primero es la facilitación de transacciones entre diferentes tipos de individuos que de otra manera tendrían dificultad en encontrarse. Estas plataformas se denominan plataformas transaccionales y los mercados asociados se conocen como mercados multilaterales. Airbnb, Amazon, eBay, Google Search y Uber son algunos ejemplos.

Diagrama III.1
Tipos de plataformas según el Center for Global Enterprise



Fuente: P. C. Evans, y A. Gawer, "The rise of the platform enterprise: a global survey", *The Emerging Platform Economy Series*, N° 1, Center for Global Enterprise, 2016.

El segundo mecanismo es la facilitación de procesos de innovación. El Center for Global Enterprise denomina plataformas de innovación a los arreglos tecnológicos sobre los que un gran número de innovadores pueden desarrollar servicios o productos complementarios, conformando un ecosistema de innovación alrededor de la plataforma. El iPhone es un ejemplo de ello: los innovadores de ese ecosistema han desarrollado cientos de miles de aplicaciones usando la tecnología que Apple pone a su disposición mediante interfaces de programación de aplicaciones (API). De Reuver, Sorensen y Basole (2017) señalan que las dinámicas de innovación en una plataforma digital generalmente dependen de sus relaciones con plataformas ubicadas en diferentes niveles de la arquitectura técnica. En el contexto de las plataformas móviles, por ejemplo, el sistema operativo iOS está vinculado con la plataforma de la tienda virtual de contenidos de Apple. En forma análoga, una plataforma de datos abiertos de ciudades inteligentes para desarrolladores de aplicaciones puede contener diferentes componentes de plataforma como bases de datos, herramientas para el desarrollo de aplicaciones o componentes de aplicación reutilizables.

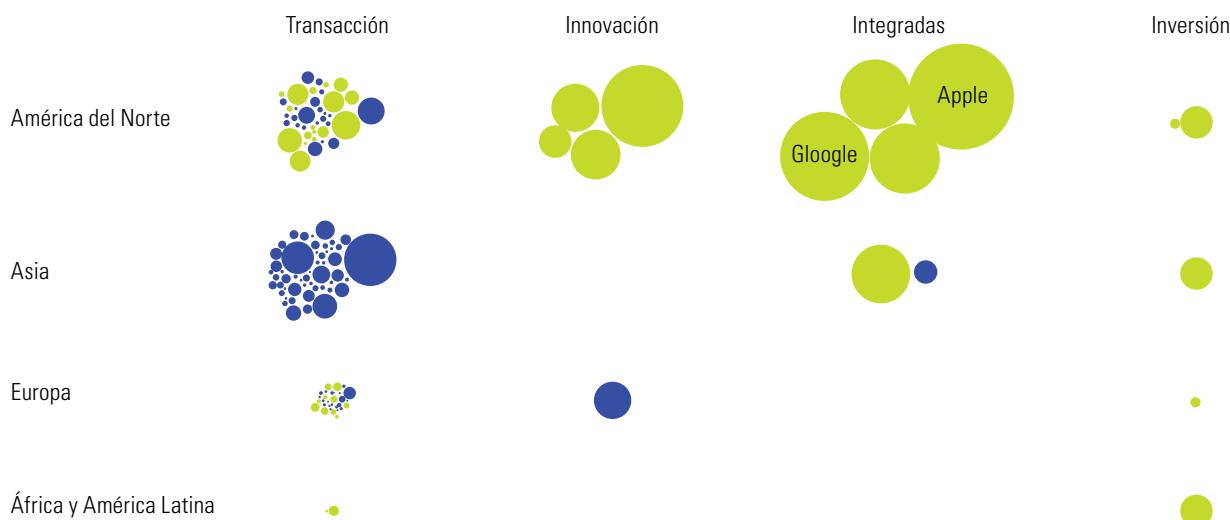
Un caso especial de plataformas de innovación son las plataformas de participación o servicios abiertos en el contexto de iniciativas de gobierno digital o ciudades inteligentes. El Parlamento Europeo (2014) describe estos dos tipos de plataformas. Las plataformas de participación suponen la intervención de los ciudadanos mediante plataformas digitales, con el objetivo de desarrollar mejores servicios públicos. Algunos ejemplos son las plataformas de datos abiertos, las plataformas de externalización masiva (*crowdsourcing*) y cocreación y otras formas de ideación y participación de los ciudadanos. Mediante las plataformas de servicios abiertos, el gobierno crea una interfaz en la que abre los datos y servicios de gobierno e invita a los emprendedores y ciudadanos a desarrollar aplicaciones y soluciones para fortalecer los servicios públicos. Este tipo de plataformas se ha desarrollado, por ejemplo, en Barcelona, Helsinki, Copenhague, Malmö, Ámsterdam y Dublín. Evans y Gawer (2016) definen otros dos tipos de plataformas. Las plataformas digitales industriales conectan a las empresas del sector industrial con otras empresas, con las que pueden colaborar y articular actividades de diseño, producción y comercio, así como con desarrolladores de aplicaciones y servicios industriales. Las plataformas integradas son simultáneamente plataformas de transacción e innovación (por ejemplo, Apple), mientras que las plataformas de inversión son empresas que desarrollan una estrategia de cartera de plataformas o actúan como una sociedad de cartera que invierte en plataformas.

En su encuesta mundial de empresas de plataforma, Evans y Gawer (2016) analizaron la distribución de los cuatro tipos de plataforma según su origen geográfico. Como se observa en el diagrama III.2, Asia y América del Norte eran las regiones con mayor número de plataformas transaccionales, mientras que Europa empezaba a tener una participación significativa. Por otra parte, los Estados Unidos encabezaba el desarrollo de plataformas de innovación y plataformas integradas, tanto desde el punto de vista del número como del valor. África y América Latina tenían una pequeña presencia en las plataformas de transacción e inversión y carecían de plataformas de innovación e integradas. En los últimos años, China se ha consolidado como un líder en innovación digital, incluido el desarrollo de plataformas digitales. Según MGI (2017), ese país está entre los tres primeros en inversión de capital de riesgo en tecnologías digitales, tiene el mayor mercado de comercio electrónico (40% del valor de las transacciones mundiales) y es la sede de una de cada tres empresas tecnológicas emergentes con una valuación de más de 1.000 millones de dólares a nivel mundial (también denominadas “unicornios”).

Evans y Gawer (2016) también analizaron los sectores en los que se encontraban las empresas de plataforma encuestadas. El mayor número de plataformas se registraba en los sectores de comercio electrónico, tecnologías financieras digitales (*fintech*), software y servicios de Internet, redes sociales, medios, transporte y turismo. Por otra parte, las plataformas con el mayor valor de mercado se concentraban en los sectores de software y servicios de Internet, comercio electrónico, búsqueda y publicidad, redes sociales, medios y la Internet de las cosas (manufactura).

Diagrama III.2

Empresas de plataforma por región y tipo según el Center for Global Enterprise



Fuente: P. C. Evans, y A. Gawer, "The rise of the platform enterprise: a global survey", *The Emerging Platform Economy Series*, Nº 1, Center for Global Enterprise, 2016.

Nota: El tamaño de los círculos representa el valor de mercado de las plataformas. Las plataformas en color verde cotizan en bolsa y las plataformas en color azul son privadas.

2. Tipología de la Comisión Europea

La Comisión Europea (2016) define cinco tipos de plataformas digitales (véase el cuadro III.1): i) los mercados y las plataformas de comercio electrónico, que facilitan las transacciones de bienes y servicios entre compradores y vendedores, ii) los ecosistemas móviles y las plataformas de distribución de aplicaciones, que permiten el desarrollo de software, servicios y contenidos por terceros, iii) los servicios de búsqueda, iv) las plataformas de medios sociales, que hacen posible la interacción en línea entre usuarios con el fin de comunicarse, expresarse o compartir contenidos, y v) las plataformas de publicidad en línea, que facilitan la compra y venta de espacios de publicidad en páginas web u otras plataformas.

Cuadro III.1

Tipología de plataformas según la Comisión Europea

Tipo	Alcance	Ejemplos
Mercados y plataformas de comercio electrónico	Plataformas en línea en las que se realizan transacciones entre compradores y vendedores de bienes o servicios	eBay, Amazon, Rakuten
Ecosistemas móviles y plataformas de distribución de aplicaciones	Ecosistemas de software, servicios y contenidos construidos sobre los sistemas operativos de los teléfonos inteligentes y las tabletas	Android, iOS
Servicios de búsqueda en Internet	Servicios que ayudan a los usuarios de Internet a encontrar respuestas relevantes a sus solicitudes de búsqueda entre billones de páginas web	Google, Yahoo!, Bing
Plataformas de medios sociales	Servicios que permiten a los usuarios conectarse, compartir, comunicarse y expresarse en línea o mediante una aplicación móvil	Facebook, LinkedIn, Twitter, YouTube, Flickr, Soundcloud, WhatsApp, Instagram, Pinterest
Plataformas de publicidad en línea	Plataformas que facilitan la compra y venta de espacios de publicidad en páginas web, blogs y otras plataformas	Awin, AdUX, Tradedoubler, Doubleclick, Rightmedia

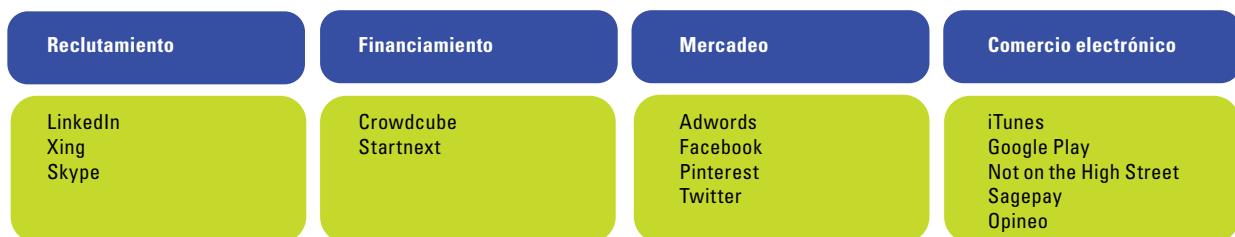
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Comisión Europea, "Commission Staff Working Document. Online Platforms: Accompanying the document Communication on Online Platforms and the Digital Single Market" (COM(2016) 288), 2016 [en línea] <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/commission-staff-working-document-online-platforms>.

3. Clasificación de Oxera

La empresa consultora Oxera (2015) propone una clasificación de plataformas basada en la perspectiva de las empresas e indica los procesos de las cadenas de valor en los que las plataformas digitales generan los mayores beneficios. Para seleccionar los tipos de plataformas de mayor impacto, utiliza el marco conceptual de cadena de valor propuesto por Michael Porter. Según este marco, existen cinco conjuntos de actividades principales en una cadena de valor: logística de entrada, operaciones, logística de salida, mercadeo y ventas, y servicios al cliente, a las que se agregan cuatro actividades de soporte: adquisiciones, gestión de los recursos humanos, infraestructura y desarrollo tecnológico. Con arreglo a ese marco, Oxera distingue cuatro tipos de plataformas digitales que generan los mayores beneficios para las empresas (véase el diagrama III.3): i) las plataformas de reclutamiento, que facilitan la identificación y contratación de personal, ii) las plataformas de financiamiento, que permiten a los empresarios acceder a nuevas fuentes de financiación para sus proyectos, iii) las plataformas de mercadeo, que facilitan las actividades de desarrollo, publicidad y promoción de los bienes y servicios ofrecidos, y iv) las plataformas de comercio electrónico, que conectan a vendedores con compradores de bienes y servicios y facilitan las transacciones.

Diagrama III.3

Principales tipos de plataformas digitales para empresas según Oxera



Fuente: Oxera, "What are the benefits of online platforms?", 2015 [en línea] <https://www.oxera.com/Latest-Thinking/Publications/Reports/2015/What-are-the-benefits-of-online-platforms.aspx>.

C. Caracterización de los ecosistemas

Los ecosistemas de plataformas digitales se caracterizan por reunir a diversos actores y grupos de interés, que varían según el tipo de plataforma. El Foro Económico Mundial (2017) distingue los siguientes actores típicos y sus respectivas funciones (véase el diagrama III.4):

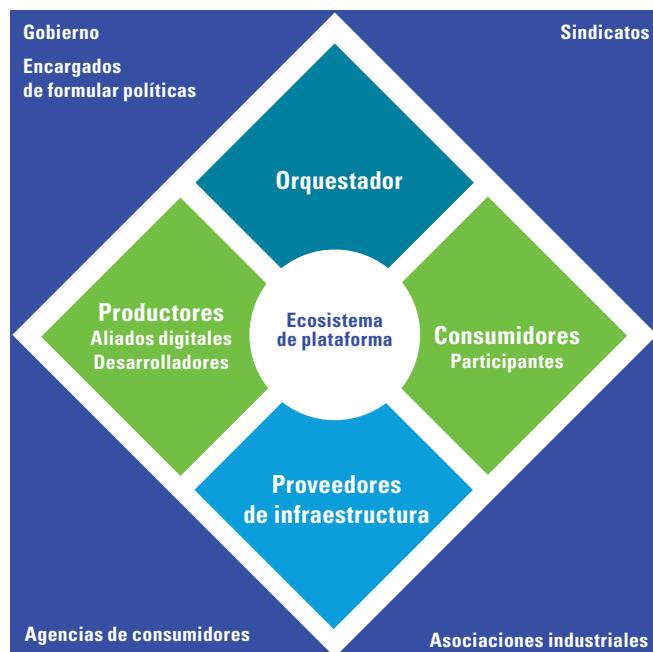
- i) Orquestador: el propietario o gestor de la plataforma. Define el marco estratégico y operacional, la interacción con los grupos de interés y la arquitectura de la plataforma y del ecosistema.
- ii) Productores: oferentes de bienes y servicios del lado de la oferta en la plataforma. Crean unidades de valor para intercambiar.
- iii) Consumidores: demandantes de los bienes o servicios ofrecidos en la plataforma. Consumen las unidades de valor ofrecidas a cambio de pagos monetarios u otros elementos como atención o reputación.
- iv) Gobiernos y encargados de formular políticas: gobiernos locales, nacionales y regionales, reguladores y organizaciones internacionales. Establecen los marcos regulatorios y de política para el funcionamiento de las plataformas.
- v) Proveedores de infraestructura: oferentes de infraestructura tecnológica (comunicaciones, software, integración de sistemas y desarrolladores). Despliegan, administran y supervisan la tecnología en la que se basa la plataforma.

En los ecosistemas de plataformas digitales confluyen múltiples actores con funciones e intereses específicos. Los orquestadores de las plataformas pueden ser empresas emergentes, empresas tecnológicas consolidadas, fundaciones o incluso gobiernos. Los productores del lado de la oferta pueden ser proveedores de bienes o servicios, encargados de publicar sitios web, anunciantes, inversionistas o desarrolladores de

aplicaciones. Los actores del lado de la demanda pueden ser consumidores de bienes o servicios —individuos o empresas—, personas que consumen y comparten contenidos, usuarios de Internet que realizan búsquedas, anunciantes o emprendedores que buscan financiación para sus proyectos o empleadores.

Diagrama III.4

Ecosistemas de las plataformas digitales



Fuente: Foro Económico Mundial, *Digital Transformation Initiative: Unlocking B2B Platform Value*, 2017 [en línea] <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-platform-report-final-3-26-17.pdf>.

Teniendo en cuenta las diferentes clasificaciones presentadas, en el cuadro III.2 se distinguen ocho tipos de plataformas relevantes que, conforme la clasificación del Center for Global Enterprise, se agrupan en dos categorías. Las plataformas de transacción se componen de seis tipos: mercados digitales, medios sociales y contenidos, servicios de búsqueda en Internet, publicidad digital, financiación y gestión de talento. Las plataformas de innovación incluyen los ecosistemas móviles y las plataformas de distribución de aplicaciones, así como las plataformas de participación y servicios abiertos.

Cuadro III.2

Tipos de plataformas

Categoría	Tipos de plataformas	Ejemplos
Transacción	1. Mercados digitales	Amazon, eBay, Rakuten, Alibaba, Etsy, MercadoLibre, Google Play, Apple App Store, Origin, Airbnb, Uber, Upwork, Ticketmaster, Despegar, PayPal, Sagepay, PayU
	2. Medios sociales y contenidos	Facebook, Twitter, Youtube
	3. Servicios de búsqueda en Internet	Google, Bing, Yahoo!
	4. Publicidad digital	Adwords, DoubleClick, Tradedoubler, AdECN, ONE by AOL
	5. Financiamiento	Kickstarter, Crowdcube, Startnext, Indiegogo
	6. Gestión de talento	LinkedIn, Monster, Careerbuilder, Glassdoor, Indeed
Innovación	7. Ecosistemas móviles y plataformas de distribución de aplicaciones	Android, iOS
	8. Plataformas digitales industriales	AWS IoT, Azure, Google Cloud Platform, IBM Watson IoT, Thingworx, Predix, MindSphere
	9. Participación y servicios abiertos	Citadel, CitySDK, HRI Helsinki, FIWARE, Universaal, Amsterdam Smart City Platform, Busan Smart City Platform

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Oxera, Comisión Europea y McKinsey Global Institute (MGI).

1. Plataformas de mercados digitales

Las plataformas de mercados digitales conectan compradores con vendedores de bienes y servicios y facilitan las transacciones entre ellos (véase el diagrama III.5). Según la Comisión Europea (2016), incluyen las plataformas de comercio electrónico de bienes físicos, como Amazon, eBay, Alibaba, Rakuten, Etsy y Mercado Libre; las plataformas de comercio de servicios, como Airbnb, Uber, Upwork, Ticketmaster y Despegar; las plataformas de pagos en línea, como Paypal, Sagepay y PayU, y las plataformas de comercio de bienes digitales (aplicaciones y contenidos digitales), como Google Play, Apple App Store y Origin.

Diagrama III.5

Plataformas de mercados digitales



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

De acuerdo con Copenhagen Economics (2015), estas plataformas abren oportunidades para las mipymes, que pueden utilizar plataformas de comercio electrónico como Amazon, eBay o Etsy para vender sus productos en el mercado. Asimismo, pueden utilizar plataformas empresa a empresa (B2B) para conectarse con otras empresas y compartir recursos, como en el caso de Floow2, que permite a las empresas compartir recursos usados a niveles de capacidad subóptimos (equipos, espacios, materiales y recursos humanos, entre otros), y de 3D Hubs, que conecta a propietarios de impresoras 3D con empresas que necesitan ese servicio.

Las plataformas de mercados digitales generalmente ofrecen espacio virtual y herramientas para realizar transacciones a terceros vendedores de bienes y servicios a cambio de una comisión. Para algunos participantes, estas plataformas permiten reducir los costos de transacción mediante mecanismos como la agrupación de vendedores en un solo espacio, la formulación de recomendaciones a los compradores, el establecimiento de reglas básicas y códigos de conducta o la implementación de métodos de pago convenientes (Comisión Europea, 2016).

Wertz y Tran Kingyens (2015) clasifican tres tipos de plataformas de mercados digitales según sus participantes en el lado de la oferta o de la demanda: i) las plataformas entre pares (P2P), en las que las transacciones se realizan principalmente entre individuos (por ejemplo, eBay y Airbnb en sus comienzos); ii) las plataformas empresa a consumidores (B2C), en las que la base de vendedores se compone de empresas (Amazon), y iii) las plataformas de comercio de empresa a empresa (B2B), en las que tanto los vendedores como los compradores son empresas (Alibaba, Kinnek, Tradeindia, Capterra, 3D Hubs, Floow2).

Las plataformas de mercados digitales implementan diferentes modelos de negocios. Según la Comisión Europea (2016), la mayoría se especializa en determinadas clases de productos o servicios. Algunas son relativamente abiertas y ejercen un control limitado sobre los bienes o servicios ofrecidos (Craigslist), mientras que otras son relativamente cerradas y su operador tiene mayor control sobre la oferta. Este es el caso de Steam, una empresa que aprueba la lista de vendedores que pueden entrar a su plataforma.

En algunos casos, las plataformas también actúan como revendedores de bienes y servicios. Hagiu y Wright (2014) mencionan a Amazon, que empezó como un revendedor de bienes y se convirtió en un mercado en el que terceros pueden realizar transacciones directamente con los consumidores en su sitio web. En

cambio, los proveedores de contenidos digitales como DirecTV, Apple iTunes y Netflix operan únicamente como vendedores y revendedores y no como mercados.

Por otra parte, Wertz y Tran Kingyens (2015) desarrollaron otra tipología de plataformas de mercados en línea:

- i) Mercados en línea según demanda: conectan a los consumidores con contratistas independientes que ofrecen servicios o productos según demanda (Uber, Lyft, Upwork).
- ii) Mercados en línea administrados: además de conectar compradores con vendedores, se encargan de otras etapas de la cadena de suministro para mejorar la experiencia de los usuarios. Un ejemplo es Beipi, una plataforma de compra y venta de automóviles cuyo operador revisa los autos ofrecidos y otorga garantías a los vendedores.
- iii) Plataformas en línea enfocadas en comunidades: los compradores y vendedores no solo participan para completar transacciones, sino también por el sentido de identidad y pertenencia a una comunidad específica (por ejemplo, Etsy en las comunidades de artesanos y vendedores independientes).
- iv) Mercados en línea habilitados por herramientas de software como servicio (*software as a service* (SaaS)): negocios que ofrecen herramientas de software como servicio para consolidar una plataforma de mercado digital. Atraen a los usuarios mediante herramientas de software gratuitas y, a partir de ello, los motivan a participar en el mercado en línea. Un ejemplo es OpenTable, que ofrece herramientas de administración de reservas a los restaurantes y, al mismo tiempo, ha consolidado un mercado relacionado.
- v) Mercados en línea descentralizados: plataformas gratuitas no jerárquicas en las que las reglas, la confianza, la identidad y los pagos se definen a nivel de los usuarios (OpenBazaar, Lazooz, OpenName, entre otras).

Las plataformas de pago que conectan de manera segura negocios con compradores para autorizar y ejecutar pagos electrónicos también desempeñan un papel importante en el comercio electrónico. El soporte a las transacciones se puede realizar para las compras que realizan los usuarios de manera directa en los negocios de comercio electrónico o para las compras que realizan mediante otras plataformas digitales (por ejemplo, PayPal, Stripe, Adyen y PayU).

Las plataformas de mercados digitales generan ingresos de diferentes maneras. La práctica común es el cobro una comisión por cada transacción, expresada como un porcentaje de su valor. Cada plataforma define el porcentaje que cobra: OpenTable el 1,9%, eBay un promedio del 10%, Airbnb un promedio del 11%, Expedia el 11,9%, Amazon un promedio del 12%, Ticketmaster un 26% estimado, Steam el 30%, GroupOn un 38,2% estimado y ShutterStock el 70% (Gurley, 2013).

Existen otros modelos de financiación. Algunos mercados digitales se financian con cargos por suscripción, como en el caso de los sitios de intercambio de casas LoveHomeSwap y Home Exchange y de citas personales como Match.com. Algunos sitios de avisos clasificados, como Craigslist, cobran una tarifa por cada publicación de una oferta de bienes o servicios en determinadas categorías. Etsy y Peerby utilizan el modelo *freemium*, en el que los servicios básicos son gratuitos (*free*) y los usuarios que desean acceder a servicios más avanzados o especiales (*premium*) —como aseguramiento, entrega, ofertas promocionales, mecanismos especiales de pago o envío— deben pagar una tarifa. Algunas plataformas, como Etsy y Gumtree, también reciben ingresos a partir de la publicación de avisos de publicidad en su sitio (Makkonen, 2015).

Las plataformas de mercados digitales recopilan grandes cantidades de datos personales y no personales de sus usuarios. Mediante el uso de herramientas para la analítica de grandes datos, aumentan sus ingresos al mismo tiempo que permiten a sus usuarios generar más valor. Esto se logra con acciones como: i) la mejora de la personalización de las ofertas y los precios y de la protección de los derechos de los usuarios; ii) el aumento de la eficiencia operativa mediante un mejor manejo de inventarios; iii) la atracción de nuevos usuarios; iv) el análisis de mercados y el conocimiento de las tendencias en curso, y v) la venta de información a anunciantes cumpliendo con las regulaciones en materia de protección de datos (Comisión Europea, 2016).

Las plataformas de mercados digitales se dividen en tres subcategorías: plataformas de bienes (comercio electrónico), plataformas de servicios y plataformas de pagos.

Las plataformas de comercio electrónico han crecido de manera sostenida en los últimos años. En los Estados Unidos, las ventas de comercio electrónico pasaron de cerca de 170.000 millones de dólares en 2010 a cerca de 400.000 millones en 2016. En ese período, el comercio de paquetes creció a una tasa promedio anual del 9% (KPCB, 2017). En el cuadro III.3 se muestran las mayores plataformas globales y regionales según el número de usuarios (Linnworks, 2016) y se incluye la posición de cada sitio web en la clasificación mundial de Alexa en enero de 2018, que es un indicador de su relevancia en Internet².

Cuadro III.3

Principales plataformas digitales de comercio electrónico

Región	Plataforma	Número de usuarios activos en 2016 (en millones)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018
Mundo	Amazon	304	10
	eBay	167	40
	Etsy	25	169
	Fruugo	25	233 045
Europa	Allegro	9	292
	Cdiscount	8	672
	FNAC	20	1 225
	PriceMinister	22	2 087
	Real.de	3	5 165
	GAME	4	8 068
	Not On The High Street	2	9 116
	La Redoute	11	45 851
	Flubit	10	115 778
	Pixmania	10	192 458
América del Norte	OTTO	9	234 301
	Newegg	30	483
	Sears	...	2 062
Asia	Jet	4	3 017
	Alibaba Tmall	400	12
	JD	188	19
	Rakuten	105	110
	Flipkart	75	154
Oceanía	Kaola	30	6 109
	Trade Me	4	2 723
África	Jumia	...	953
	Bidorbuy	...	7 639
América Latina	Mercado Libre	160	1 919
	Lino	20	61 974

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Alexa y Linnworks, "A complete list of online marketplaces across the globe", 2016 [en línea] <http://blog.linnworks.com/complete-list-of-online-marketplaces>.

La mayor plataforma mundial de comercio electrónico es Amazon, con 304 millones de usuarios, seguida por eBay, con más de 167 millones. Según la clasificación de Alexa, las primeras plataformas de comercio electrónico a nivel regional son: Allegro en Europa, Newegg en América del Norte, Alibaba Tmall en Asia y Mercado Libre en América Latina.

² Alexa clasifica millones de páginas web según una combinación del número estimado de visitantes únicos y del número de vistas de página de cada sitio web durante un período de tres meses. Véase Alexa [en línea] <https://www.alexa.com/>.

En relación con las plataformas digitales de servicios, se realizó una revisión de las principales plataformas mencionadas en la literatura y listadas en el sitio Crunchbase³. En el cuadro III.4 se detallan las plataformas encontradas, su región de origen y el sector en el que operan. Además, se incluye la financiación recibida o la capitalización de mercado a diciembre de 2017 de cada plataforma según Crunchbase, así como su posición en la clasificación mundial de Alexa.

Cuadro III.4

Principales plataformas digitales de servicios

País o región de origen	Plataforma	Sector	Financiación total Diciembre de 2017 (en millones de dólares)	Capitalización de mercado Diciembre de 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018
Estados Unidos	Coinbase	Financiero	225	...	267
	Zillow	Vivienda		5 430	298
	Udemy	Educación	173	...	362
	Airbnb	Alojamiento	4 398	...	370
	Uber	Transporte	22 112	...	1 094
	DoorDash	Entrega a domicilio	187	...	5 890
	Lyft	Transporte	4 112	...	7 201
	Instacart	Entrega a domicilio	675	...	7 885
	Postmates	Logística	278	...	9 352
	Robinhood	Financiero	176	...	15 903
	Blablacar	Transporte	335	...	65 618
Asia	Munchery	Entrega a domicilio	125	...	102 909
	Quikr	Servicios	430	...	1 607
	Ola	Transporte	3 009	...	14 643
	Didi Chuxing	Transporte	19 738	...	21 647
	GO-JEK	Transporte	1 750	...	62 244

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Crunchbase y Alexa.

Las principales plataformas de servicios están basadas en los Estados Unidos o Asia y pertenecen sobre todo a los sectores financiero, de vivienda-alojamiento, logística y transporte. Las plataformas con los mayores índices mundiales de tráfico de Internet son Coinbase, Zillow, Udemy, Airbnb y Uber, todas basadas en los Estados Unidos. La plataforma de bienes raíces Zillow es la única de las encontradas que cotiza en bolsa (Nasdaq). En 2017, su capitalización de mercado ascendía a 5.430 millones de dólares. Las plataformas privadas que recibieron la mayor cantidad de financiación son Uber (22.000 millones de dólares), Didi Chuxing (19.000 millones de dólares), Airbnb (4.300 millones de dólares) y Lyft (4.100 millones de dólares).

La tercera subcategoría corresponde a las plataformas de pago. En el cuadro III.5 se detallan las principales y se incluye información sobre su país de origen, la financiación recibida o el valor de mercado y su ubicación en la clasificación de Alexa. Siete de las 11 plataformas encontradas están basadas en los Estados Unidos y las restantes en países europeos. La principal plataforma es Paypal, que ocupa el puesto 66 en la clasificación mundial de Alexa y cuya capitalización de mercado en Nasdaq asciende a 94.000 millones de dólares. Otras plataformas importantes son Stripe, Payoneer, Square, Adyen, Worldpay y PayU.

³ Véase Crunchbase [en línea] <https://www.crunchbase.com/>.

Cuadro III.5

Principales plataformas digitales de pagos

Plataforma	País de origen	Financiación total desde la salida al mercado hasta 2017 (en millones de dólares)	Total de adquisición (en millones de dólares)	Capitalización de mercado Diciembre de 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018
Paypal	Estados Unidos	94 000	66
Stripe	Estados Unidos	440	1 594
Payoneer	Estados Unidos	270	2 124
Square	Estados Unidos	15 990	2 495
Adyen	Turquía	266	3 931
Worldpay	Reino Unido		9 950 (2017)	...	6 730
PayU	Holanda	235,5	8 186
Payline	Francia	7	18 655
Mangopay	Estados Unidos		99 658
Dwolla	Estados Unidos	39	110 145
Vantiv	Estados Unidos	13 750	149 866

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Crunchbase y Alexa.

2. Plataformas de medios sociales y contenidos

Las plataformas de medios sociales y contenidos permiten a los usuarios compartir información y contenidos, comunicarse y expresarse en línea o mediante una aplicación móvil (véase el diagrama III.6). Algunas se especializan en cierto tipo de contenido generado por los usuarios: Twitter en opiniones, YouTube en videos, Instagram y Flickr en imágenes, Soundcloud en música, Tumblr en blogs, Reddit en contenidos web.

Diagrama III.6

Plataformas de medios sociales y contenidos



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Las plataformas de medios sociales y contenidos generalmente se financian mediante tres fuentes de ingreso. La principal fuente de ingresos en la mayoría de las plataformas de medios sociales proviene de la publicidad alojada visible para los usuarios. En segundo lugar, algunas plataformas cobran tarifas por servicios especiales o avanzados, como por ejemplo YouTube con su servicio YouTube Red, que permite acceder a los contenidos sin publicidad, reproducir videos sin conexión y reproducir videos en segundo plano en dispositivos móviles, entre otros servicios. Algunas plataformas también reciben ingresos por la reventa y reutilización de los datos de sus usuarios. Otras fuentes de ingreso pueden incluir el cobro de comisiones por transacciones realizadas en las plataformas y cobros por utilización de aplicaciones o contenidos específicos, por ejemplo videojuegos (Comisión Europea, 2016).

En el cuadro III.6 se indican las principales plataformas de medios sociales y contenidos, según el sitio Statcounter⁴. Se incluye la información sobre el país, la financiación recibida o el valor de mercado, la ubicación en la clasificación mundial de Alexa y la participación de mercado como porcentaje del total de visitas al mes. Las siete plataformas sociales estudiadas están basadas en los Estados Unidos. YouTube es la mayor en términos de tráfico de Internet (segundo puesto en la clasificación de Alexa). Fue adquirida por Google en 2006 por 1.700 millones de dólares. La plataforma con la mayor participación de mercado según el número de visitas al sitio web es Facebook (75%), con una capitalización de mercado de 542.000 millones de dólares en 2017. Otras plataformas sociales relevantes son Reddit, Twitter, Instagram, Tumblr y Pinterest.

Cuadro III.6

Principales plataformas de medios sociales y contenidos

Plataforma	País de origen	Financiación total desde la salida al mercado hasta 2017 (en millones de dólares)	Total de adquisición (en millones de dólares)	Capitalización de mercado en 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018	Participación de mercado Diciembre de 2017 (en porcentaje de visitas al sitio web)
YouTube	Estados Unidos	...	1 700	...	2	4,8
Facebook	Estados Unidos	542 950	3	75,5
Reddit	Estados Unidos	350	7	0,7
Twitter	Estados Unidos	18 060	13	5,7
Instagram	Estados Unidos	58	1 010	...	17	1,4
Tumblr	Estados Unidos	125	1 100	...	55	0,6
Pinterest	Estados Unidos	1 466	77	10

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de StatCounter, Crunchbase y Alexa.

3. Servicios de búsqueda en Internet

Las plataformas de búsqueda conectan a los usuarios de Internet que buscan información con los encargados de publicar sitios web que proveen los contenidos (véase el diagrama III.7).

Diagrama III.7

Servicios de búsqueda en Internet



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

⁴ Véase StatCounter [en línea] <http://gs.statcounter.com/>.

La operación de estas plataformas consta de tres pasos: i) rastreo: acceden a una gran cantidad de sitios web y recolectan y almacenan información sobre cada uno; ii) indexación: archivan la información de los sitios web en un índice de una manera lógica y organizada que permite encontrar la información de manera rápida, y iii) entrega: entregan al usuario el resultado que corresponde de mejor manera con la búsqueda realizada. Implementan algoritmos y procesos de computación para seleccionar y clasificar en orden de importancia los sitios web más relevantes (Comisión Europea, 2016).

Los motores de búsqueda pueden ser generales y verticales. Las plataformas generales permiten la búsqueda de información de cualquier tipo (por ejemplo, Google, Yahoo!, Bing). Los buscadores verticales entregan resultados de búsquedas en categorías específicas de información y generalmente son utilizados por nichos de usuarios. Algunos ejemplos de buscadores verticales son: Booking, TripAdvisor, Kayak y Trivago, especializados en información para viajes, Eventful en eventos, Grooveshark en música, YouTube y AOL Video en videos.

La mayoría de las plataformas de búsqueda operan sin cobros directos a sus usuarios; su principal fuente de ingresos es la publicidad. La práctica más común es el cobro a los anunciantes de una tarifa por cada clic de los usuarios en los enlaces de sus sitios web que figuran en la página de resultados de cada búsqueda.

En el cuadro III.7 se presentan las principales plataformas generales de búsqueda en Internet, según el sitio StatCounter. También se incluye información sobre la financiación recibida y la capitalización de mercado, su posición en la clasificación mundial de Alexa y su participación de mercado como porcentaje de visitas mensuales al sitio web. Google es la mayor plataforma de búsqueda por participación de mercado (92%), ocupa la primera posición en la clasificación mundial de Alexa y en la capitalización de mercado (773.000 millones de dólares). Otras plataformas importantes son Baidu en China, Yahoo y Bing en los Estados Unidos y Yandex en la Federación de Rusia.

Cuadro III.7

Principales plataformas generales de búsqueda en Internet

Plataforma	País de origen	Financiación total desde la salida al mercado hasta 2017 (en millones de dólares)	Capitalización de mercado Diciembre de 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018	Participación de mercado Diciembre de 2017 (porcentaje de visitas a sitio web)
Google	Estados Unidos	36,1	772 970	1	91,8
Baidu	China	26,2	87 710	4	1,7
Yahoo!	Estados Unidos	6,8	66 730	6	1,6
Yandex	Federación de Rusia	5,3	11 120	29	0,6
Bing	Estados Unidos	...	681 310 (Microsoft)	43	2,8

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de StatCounter, Crunchbase y Alexa.

4. Plataformas de publicidad digital

Estas plataformas conectan anunciantes de publicidad con encargados de publicar contenidos en Internet, que integran los anuncios de publicidad en sus contenidos en línea (véase el diagrama III.8). Facilitan la compra y venta de espacios de publicidad en páginas web, blogs u otras plataformas en Internet.

La Comisión Europea (2016) describe cinco tipos de plataformas: las redes de publicidad, las plataformas de intercambio de publicidad, las plataformas del lado de la oferta (*supply side platforms* (SSP)), las plataformas del lado de la demanda (*demand side platforms* (DSP)) y las plataformas de gestión de datos (véase el diagrama III.9). Algunas de estas plataformas pueden funcionar de manera articulada entre sí.

Diagrama III.8

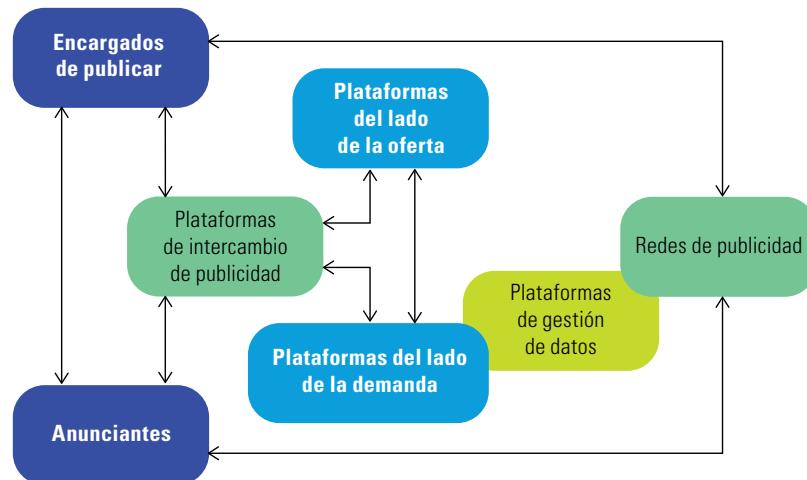
Plataformas de publicidad digital



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Diagrama III.9

Mapa de plataformas de publicidad digital



Fuente: Comisión Europea, "Commission Staff Working Document. Online Platforms: Accompanying the document Communication on Online Platforms and the Digital Single Market" (COM(2016) 288), 2016 [en línea] <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/commission-staff-working-document-online-platforms>.

- i) Las redes de publicidad proveen servicios a encargados de publicar sitios web interesados en alojar avisos publicitarios y a anunciantes que desean publicar avisos en esos sitios. Los operadores de las plataformas agregan los espacios de publicidad y los revenden a sus clientes anunciantes y prestan otros servicios, como la gestión de los pagos y el acceso a herramientas para determinar la efectividad de las campañas publicitarias. Algunas redes de publicidad también ofrecen herramientas de publicación de anuncios a los anunciantes o encargados de publicar. Estas permiten la incorporación de anuncios personalizados en el espacio adecuado de un sitio web y la observación del comportamiento de los consumidores para mejorar la precisión de los anuncios.
- ii) Las plataformas de intercambio de publicidad son mercados digitales que facilitan, mediante subastas, las transacciones de espacios de publicidad entre los encargados de publicar sitios web y los anunciantes. Pueden actuar como vendedores o compradores en estos mercados, que pueden ser abiertos o privados.
- iii) Las plataformas del lado de oferta ofrecen a los encargados de publicar herramientas para vender sus espacios de publicidad a múltiples anunciantes mediante una única interfaz. Generalmente se vinculan con las plataformas de intercambio de publicidad, en las que se venden los espacios.
- iv) Las plataformas del lado de la demanda ofrecen a los anunciantes una única interfaz para gestionar sus campañas en diferentes encargados de publicar.

- v) Las plataformas de gestión de datos, generalmente integradas con las plataformas del lado de la demanda, recopilan, agregan y evalúan datos de los usuarios a partir de diferentes fuentes y permiten a los anunciantes focalizar sus campañas.

Las redes de publicidad generalmente obtienen sus ingresos del arbitraje entre el costo de los espacios de publicidad y el valor que los anunciantes están dispuestos a pagar por los espacios. Así, pagan a los encargados de publicar una remuneración fija por cantidad de clics o vistas de anuncios publicados en sus páginas web y venden el acceso a esos espacios a los anunciantes a una tarifa que les permite un beneficio. Las plataformas de intercambio de publicidad reciben ingresos del cobro de tasas de intermediación: comisiones por transacciones realizadas o tarifas de suscripción (Comisión Europea, 2016).

Algunas de las principales redes de publicidad son operadas por buscadores de Internet o plataformas sociales. Google, por ejemplo, administra las plataformas Google Adwords y Google Adsense. Google Adwords permite a los anunciantes publicar anuncios en los resultados de las búsquedas de usuarios en Google o en sitios afiliados como Gmail o YouTube. Google Adsense permite que los encargados de publicar alojen anuncios de Google Adwords en sus sitios web, blogs o aplicaciones a cambio de un pago en función de los clics de los usuarios en los respectivos anuncios. Facebook, por otra parte, funciona como plataforma de publicidad al alojar anuncios directamente en su sitio web o aplicación móvil y administra la plataforma Audience Network, mediante la que aloja anuncios de Facebook en sitios web o aplicaciones móviles de terceros.

El incremento en el uso de Internet impulsó el crecimiento del mercado mundial de publicidad digital. De acuerdo con *The Wall Street Journal* (2017), los ingresos por concepto de publicidad digital en el mundo alcanzaron 204.000 millones dólares en 2017, equivalentes al 40% del mercado global. Ese año, los ingresos de la publicidad digital superaron por primera vez los ingresos de la publicidad en televisión, que corresponden al 36% del mercado global. La participación de la publicidad móvil en la publicidad digital total también muestra una tendencia creciente. En los Estados Unidos, este tipo de publicidad pasó de representar el 3% de los ingresos de la publicidad digital en 2011 al 50% en 2016 (PwC, 2017).

En el cuadro III.8 se presenta un listado no exhaustivo de las principales plataformas de publicidad digital, su país de origen, la financiación recibida o el valor de mercado y su posición en la clasificación mundial de Alexa. Ocho de las diez plataformas incluidas están basadas en los Estados Unidos, una en Suecia y una en la India. Según la clasificación de Alexa, las plataformas asociadas a los sitios web de mayor tráfico son Google Adwords y Google Adsense, Facebook y Facebook Audience Network, Right Media y AdECN. Google y Facebook son los principales actores en el mercado mundial de publicidad digital, pues reciben cerca del 70% de los ingresos por publicidad digital en los Estados Unidos (KPCB, 2017).

Cuadro III.8

Principales plataformas de publicidad digital

Plataforma	País de origen	Financiación total hasta 2017 (en millones de dólares)	Total de adquisición (en millones de dólares)	Capitalización de mercado en 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018
Google Adwords y Adsense	Estados Unidos	1 (Google)
Facebook y Audience Network	Estados Unidos	3 (Facebook)
Right Media	Estados Unidos	...	850	...	6 (Yahoo)
AdECN	Estados Unidos	3,2	47 (Microsoft)
Tradedoubler	Suecia	...		17,5	1 277
DoubleClick	Estados Unidos	53 806
InMobi	India	320,6	92 272
Tapad	Estados Unidos	...	360	...	99 176
ONE by AOL	Estados Unidos	221 781

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Crunchbase y Alexa.

5. Plataformas de financiamiento

Las plataformas de financiamiento conectan inversionistas con emprendedores o empresas (véase el diagrama III.10). Amplían la oferta de financiamiento, permiten a las empresas emergentes contar con fuentes adicionales de recursos para su crecimiento y amplían las posibilidades de inversión para los inversionistas profesionales y no profesionales. De acuerdo con Oxera (2015), estas plataformas hacen posible que proyectos cuyos retornos son inciertos, como los proyectos artísticos o culturales, reciban financiación.

Diagrama III.10
Plataformas de financiamiento



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Las plataformas de financiamiento han desarrollado múltiples modelos de negocios. Wilkinson (2017) menciona cinco modelos:

- Plataformas de financiamiento colectivo (*crowdfunding*) basado en recompensas. Estas plataformas publican un conjunto de productos, servicios o proyectos susceptibles de financiación. Cada proyecto tiene una meta de financiación que debe alcanzarse para el desarrollo del proyecto. Los financiadores o patrocinadores ofrecen cierto monto de financiación y, si el proyecto alcanza la meta, entregan la cantidad prometida a cambio de una recompensa definida previamente por el desarrollador del proyecto (por ejemplo, una copia del producto o una experiencia relacionada). Las plataformas cobran una comisión sobre la financiación recibida, en un porcentaje que varía entre el 3% y el 5%. Esto reduce el riesgo para los emprendedores pues no tienen que hacer pagos a la plataforma si no reciben financiación. Algunas plataformas que operan con este modelo son Kickstarter, Indiegogo y Crowdfunder.
- Plataformas de financiamiento colectivo basado en donaciones. Operan de manera similar al modelo anterior, con la diferencia de que los patrocinadores no reciben una recompensa a cambio y hacen sus donaciones únicamente por motivos altruistas. JustGiving es un ejemplo.
- Plataformas de microcrédito. Conectan personas o pequeños empresarios que requieren pequeñas cantidades de crédito con personas o fundaciones dispuestas a otorgarles el crédito requerido. Los recursos se dirigen a iniciar negocios o cubrir gastos relacionados con la mejora de las condiciones de vida, entre otros. Generalmente funcionan sin fines de lucro. Un ejemplo es Kiva, que opera en 82 países y ha contado con 2,7 millones de prestatarios y 1,7 millones de prestamistas. El monto mínimo de un préstamo es 25 dólares. Hasta la fecha ha facilitado préstamos por 1.090 millones de dólares⁵.
- Plataformas basadas en deuda. Conectan personas o negocios en busca de crédito con inversionistas en busca de retornos económicos. Las tasas de los créditos generalmente varían entre el 2% y el 7% y dependen del grado de riesgo, la duración del crédito y las variaciones en las tasas de interés. Es posible invertir en proyectos específicos o en un fondo general y la plataforma decide a quién otorga

⁵ Véase Kiva [en línea] <https://www.kiva.org/>.

los créditos. Asimismo, pueden tener fondos de previsión para evitar pérdidas a los inversionistas. Generalmente reciben ingresos mediante el cobro de comisiones sobre los pagos. Algunos ejemplos son Zopa y Rateseller en el segmento entre pares (P2P) y Funding Circle en el segmento de crédito a empresas(P2B).

- v) Plataformas basadas en capital o de financiamiento colectivo de inversión. Permiten a pequeños inversionistas y profesionales invertir en empresas con potencial de crecimiento. Al invertir, adquieren acciones o participaciones en las empresas, con la expectativa de recibir un retorno cuando la empresa crezca en un período determinado, se venda o se cotice en la bolsa. En general, recomiendan a las personas invertir en diferentes empresas para tener carteras equilibradas y mitigar el riesgo asociado. Habitualmente cobran comisiones de éxito, como un porcentaje de la inversión recibida, y comisiones por el procesamiento de pagos. El principal ejemplo de este tipo de plataformas es CrowdCube, con base en el Reino Unido, mediante la que 630 empresas han recibido financiación con una inversión total de 91 millones de euros⁶.

En el cuadro III.9 se presenta un listado no exhaustivo de las principales plataformas de financiamiento, su país de origen, los recursos recaudados para financiar emprendimientos o el financiamiento otorgado hasta 2017, la financiación recibida para el desarrollo de la plataforma hasta 2017 y su posición en la clasificación mundial de Alexa. Cinco de las ocho plataformas están basadas en los Estados Unidos, y las tres restantes en el Reino Unido. En términos de recaudación para otorgar financiamiento a clientes o montos efectivamente financiados a los clientes, las mayores son Kickstarter y GoFundMe en los Estados Unidos y Zopa y Funding Circle en el Reino Unido. Cada una ha recaudado recursos por más de 3.000 millones de dólares para financiar emprendimientos.

Cuadro III.9

Principales plataformas de financiamiento

Plataforma	País de origen	Recaudación o financiación total a clientes desde su creación hasta 2017 (en millones de dólares)	Financiación total recibida desde su creación hasta 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018
Kickstarter	Estados Unidos	3 460	10	584
GoFundMe	Estados Unidos	4 000	...	1 550
Indiegogo	Estados Unidos	800	57	1 914
Crowdcube	Reino Unido	360	28	41 291
Zopa	Reino Unido	3 500	112	73 761
Funding Circle	Reino Unido	3 700	413	49 028
Crowdfunder	Estados Unidos	120	17	197 397
CircleUp	Estados Unidos	390	53	361 886

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Crunchbase, Alexa, Kickstarter, Indiegogo, CircleUp y Funding Circle.

6. Plataformas de gestión de talento

Las plataformas de gestión de talento conectan a los empleadores con potenciales trabajadores y facilitan la contratación y gestión de personal (véase el diagrama III.11). Reducen el costo de buscar y contratar profesionales y expanden la base de candidatos al permitir la búsqueda en universos más amplios. También facilitan la búsqueda y la contratación de profesionales independientes para realizar tareas específicas. En general, recopilan grandes cantidades de información sobre profesionales, empleadores y proyectos, sintetizan esa información y conectan individuos con las oportunidades de trabajo, según los requisitos indicados (MGI, 2015).

⁶ Véase CrowdCube [en línea] <https://www.crowdcube.com/>.

Diagrama III.11

Plataformas de gestión de talento



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Según MGI (2015), las plataformas de gestión de talento ayudan a las empresas a aumentar su productividad antes, durante y después del proceso de contratación de profesionales. Estas plataformas: i) facilitan la contratación de los candidatos indicados según los perfiles requeridos, ii) ofrecen herramientas para el aumento de la productividad y el bienestar de los empleados, y iii) pueden ser un mecanismo para planear estratégicamente las necesidades futuras de habilidades y liderazgo.

Las plataformas digitales de gestión de talento facilitan la búsqueda, la contratación y la gestión de personal en las empresas. De acuerdo con MGI (2015), existen tres tipos de plataformas digitales de talento: i) plataformas que conectan individuos con trabajos tradicionales y facilitan la búsqueda y la contratación de candidatos; ii) plataformas que conectan trabajadores independientes con proyectos o tareas temporales o específicas y facilitan las transacciones entre trabajadores y contratantes, y iii) plataformas que incluyen funciones que permiten mejorar el desempeño de las actividades de inducción, ubicación, definición de compensaciones, retención y desarrollo de liderazgo (véase el cuadro III.10).

Cuadro III.10

Plataformas digitales de gestión de talento

	Herramientas digitales que permiten a los usuarios:	Ejemplos (2015)
Plataformas que conectan individuos con trabajos tradicionales	<ul style="list-style-type: none"> - Publicar ofertas de tiempo completo o parcial - Crear hojas de vida en línea - Buscar talento u oportunidades de trabajo - Aportar transparencia con respecto a la reputación de empresas o trabajadores, habilidades, entre otras 	Careerbuilder Glassdoor Indeed LinkedIn Monster Vault Viadeo Xing
Mercados digitales para trabajo contingente	<ul style="list-style-type: none"> - Conectar individuos con proyectos o tareas contingentes o bajo modalidad independiente (<i>freelance</i>) - Facilitar las transacciones aportando transparencia con respecto a la reputación y las evaluaciones 	Amazon Home Services Angie's List TaskRabbit Uber Upwork
Gestión de talento	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar a los candidatos según sus atributos, habilidades, entre otras características - Personalizar la inducción, el entrenamiento y la gestión del talento - Optimizar la formación de equipos y conexiones internas - Determinar las mejores opciones de formación y desarrollo de habilidades 	Good.co PayScale Pymetrics beta ReviewSnap

Fuente: McKinsey Global Institute.

Las plataformas de talento generalmente reciben ingresos mediante el cobro de cargos por suscripción o membresía. Por ejemplo, StackOverflow cobra a las empresas una tarifa de suscripción por tener acceso a su base de datos de profesionales. LinkedIn utiliza el modelo *freemium* para sus usuarios individuales.

Los servicios básicos, como la creación de un perfil y la posibilidad de contactar a otros profesionales, son gratuitos, mientras los usuarios que desean acceder a servicios especiales o avanzados —acceso directo a reclutadores, información de búsquedas del perfil propio, información de otros candidatos, capacitación en aptitudes— deben pagar una tarifa mensual.

En el cuadro III.11 se presenta un listado de las principales plataformas digitales de gestión de talento, la financiación recibida o su valor de mercado y su posición en la clasificación mundial de Alexa. Catorce de las 16 plataformas encontradas están basadas en los Estados Unidos y las 2 restantes en Europa. La mayor plataforma de talento es LinkedIn, con más de 400 millones de usuarios. Ocupa el puesto 30 en la clasificación de Alexa. Fue adquirida por Microsoft en 2016 por 26.200 millones de dólares. Otras plataformas importantes son Indeed, Glassdoor y Upwork.

Cuadro III.11

Principales plataformas digitales de gestión de talento

Plataforma	País de origen	Financiación total desde la salida al mercado hasta 2017 (en millones de dólares)	Total de adquisición (en millones de dólares)	Capitalización de mercado en 2017 (en millones de dólares)	Posición en la clasificación mundial de Alexa Enero de 2018
LinkedIn	Estados Unidos	...	26.200	...	30
Indeed	Estados Unidos	5	181
Glassdoor	Estados Unidos	204	454
Upwork	Estados Unidos	169	521
Xing	Alemania	1 550	1 416
Monster	Estados Unidos	...	429	...	1 872
CareerBuilder	Estados Unidos	4 116
PayScale	Estados Unidos	...	100	...	4 803
Viadeo	Francia	57	6 955
Thumbtack	Estados Unidos	273	7 284
Angie's List	Estados Unidos	764	7 476
TaskRabbit	Estados Unidos	38	40 424
Handy	Estados Unidos	111	83 694
Pymetrics	Estados Unidos	17	138 554
Good.co	Estados Unidos	10	166 980
Reviewsnap	Estados Unidos	368 236

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Crunchbase y Alexa.

7. Ecosistemas de servicios móviles y plataformas de distribución de aplicaciones

Los servicios móviles son un ecosistema de innovación en sí mismos, pues son plataformas sobre las cuales terceros pueden desarrollar y comerciar aplicaciones, software y contenidos digitales. Las principales plataformas móviles son los sistemas operativos iOS (Apple) y Android (Google), que cuentan con tiendas de aplicaciones (App Store y Google Play, respectivamente) que permiten a los desarrolladores ofrecer aplicaciones y a los usuarios descargarlas mediante pago o en forma gratuita (véase el diagrama III.12).

Diagrama III.12

Ecosistemas móviles y plataformas de distribución de aplicaciones



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Los ecosistemas móviles se han desarrollado sobre los sistemas operativos de los teléfonos inteligentes y las tabletas y permiten desarrollar y utilizar aplicaciones y servicios. Los desarrolladores de los sistemas operativos proveen la infraestructura de soporte: herramientas de desarrollo de software, tiendas de aplicaciones, mecanismos de pago y espacios de soporte técnico.

La Comisión Europea (2016) define tres tipos de sistemas operativos móviles: i) sistemas operativos propiedad del fabricante del hardware que los crea (ejemplos, iOS de Apple y Blackberry OS); ii) sistemas operativos propiedad de terceros, en los que el desarrollador otorga la licencia, a cambio de una comisión, de su sistema operativo a fabricantes de equipos (Microsoft Windows), y iii) sistemas operativos de código abierto, en los que el desarrollador entrega el sistema operativo mediante una licencia de código abierto (Android de Google).

Las principales plataformas de distribución de aplicaciones generalmente cobran a los desarrolladores una tarifa de registro y una comisión sobre el valor de las aplicaciones pagadas que se descargan. Google Play tiene una tarifa de registro de 25 dólares y una comisión del 30% del precio de cada aplicación descargada. En el caso de productos de suscripción, la comisión es del 30% y después de 12 meses disminuye al 15%⁷. App Store cobra a los desarrolladores una tarifa de membresía de 99 dólares al año y una comisión de transacción del 30% sobre el valor de las aplicaciones descargadas y los productos asociados⁸.

En el cuadro III.12 se presentan los tres principales ecosistemas móviles y su participación de mercado en 2016, como porcentaje de las ventas mundiales de teléfonos inteligentes. Android es el sistema operativo móvil con la mayor participación de mercado (81%), mientras que iOS tiene una participación del 18% y la de Windows es inferior al 1%.

Cuadro III.12

Principales ecosistemas móviles

Plataforma	País de origen	Participación de mercado, cuarto trimestre de 2016 (en porcentaje de las ventas mundiales de teléfonos inteligentes)
Android	Estados Unidos	81,7
iOS	Estados Unidos	17,9
Windows	Estados Unidos	0,3

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Statista.

⁷ Véase Ayuda de Google [en línea] <https://support.google.com/?hl=es>.

⁸ Véase Apple [en línea] <https://www.apple.com/>.

8. Plataformas digitales industriales

Las industrias alrededor del mundo se encuentran en un momento de transformación. Uno de los principales factores de cambio es la Internet industrial. Esta tendencia se basa en la digitalización de las cadenas de valor, horizontales y verticales, y la adopción de tecnologías digitales para optimizar los procesos de producción e impulsar la innovación en productos y servicios. La Internet industrial continuará expandiéndose en los próximos años. En 2017, la empresa Capgemini encuestó a 1.000 ejecutivos de grandes empresas manufactureras en ocho países y encontró que el 76% de las empresas tenía planeada o había implementado una iniciativa de fábrica inteligente y que el 56% había invertido 100 millones de dólares o más en este tipo de iniciativa (Capgemini, 2017)⁹.

Las plataformas industriales son sistemas operativos que integran tecnologías, aplicaciones y servicios, conectando a empresas, proveedores y clientes. Integran los datos de las empresas y los ponen a disposición de los actores y para el desarrollo de aplicaciones por parte de terceros (véase el diagrama III.13).

Diagrama III.13
Plataformas digitales industriales



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

La Comisión Europea (2016) distingue tres aspectos o funciones de las plataformas digitales industriales:

- i) De comunidad: pueden conectar diferentes actores en una cadena de valor, incluidos los usuarios. Las comunidades así creadas pueden convertirse en espacios donde terceros productores creen valor.
- ii) De infraestructura: proveen infraestructura y herramientas a los actores y hacen posible que los usuarios y asociados desarrollen aplicaciones y creen valor en las capas superiores de la infraestructura. También soportan el flujo de datos que la plataforma pone a disposición de los actores e integran tecnologías y sistemas.
- iii) De datos: hacen accesibles los datos relevantes de las cadenas y los procesan y utilizan. En muchos casos, los datos se recopilan a partir de aplicaciones conectadas, sensores y equipos.

La Comisión Europea (2016) define cinco dominios relevantes para el desarrollo de plataformas digitales industriales en los próximos años. Tres de ellos son verticales —fábricas inteligentes conectadas, agricultura inteligente y transformación digital del sector de salud— y dos horizontales —plataformas industriales de datos y plataformas de la Internet de las cosas.

⁹ Los países comprendidos en la encuesta son: Alemania, China, Estados Unidos, Francia, India, Italia, Reino Unido y Suecia.

Las plataformas de fábricas inteligentes conectadas permiten a las empresas, incluidas las mipymes, implementar procesos de transformación digital y estar completamente conectadas con sus cadenas de suministro de insumos y productos. Las plataformas de agricultura inteligente permiten avanzar hacia la agricultura de precisión y apoyar a las comunidades rurales. En forma análoga, las plataformas digitales industriales del sector de la salud contribuyen a la transformación del sector mediante la integración de tecnologías para mejorar los diagnósticos y tratamientos.

Las plataformas industriales de datos son ambientes virtuales que facilitan la conexión y el intercambio seguro de datos entre empresas mediante una arquitectura compartida y reglas de gobernanza comunes. Estas plataformas pueden ser ambientes abiertos encabezados por múltiples empresas o iniciativas de empresas individuales que crean sus propias plataformas y las abren a otras empresas por motivos comerciales (Comisión Europea, 2016). Las plataformas de la Internet de las cosas permiten desarrollar aplicaciones que supervisan, gestionan y controlan dispositivos conectados en las empresas. Los principales componentes de estas plataformas son los ambientes de desarrollo, los servicios de análisis de datos, los servicios de visualización, los servicios de comercio electrónico, los servicios de seguridad, la administración de datos y la gestión de dispositivos.

Entre los tipos de plataforma más desarrollados se encuentran las plataformas basadas en la Internet de las cosas. De acuerdo con Bhatia y otros (2017), más de 400 empresas ofrecen plataformas de este tipo a nivel mundial. La mayoría de estas plataformas presenta algunas características comunes: están basadas en la nube bajo el modelo de plataforma como servicio, habilitan la recolección, el análisis y la utilización de los datos generados por dispositivos de la Internet de las cosas e incluyen herramientas de desarrollo e interfaces de programación de aplicaciones que permiten a los usuarios crear sus propias aplicaciones y servicios para mejorar la productividad y optimizar la operación de la empresa.

Las plataformas industriales de la Internet de las cosas son desarrolladas y ofrecidas por proveedores de servicios en la nube, proveedores de redes y fabricantes de equipos, entre otros. Algunos de ellos son: AWS IoT de Amazon, Microsoft Azure, Google Cloud Platform, ThingWorx, Watson de IBM, Artik de Samsung, IoT Cloud Connect de Cisco Systems, Universal of Things de Hewlett Packard, Salesforce, Datav de Bsquare, MindSphere de Siemens y Predix de General Electric.

Por otra parte, en virtud de una encuesta de sus Estados miembros realizada en 2017, la Comisión Europea contabilizó 56 plataformas digitales industriales en desarrollo o en funcionamiento. A continuación se describen tres de las plataformas mencionadas en esa encuesta: i) S3P, una plataforma público-privada de desarrollo y ejecución de software para la Internet de las cosas, cuyo objetivo es acelerar el desarrollo y la utilización de servicios y dispositivos de esta tecnología, ii) Optician 2020, una plataforma creada por un consorcio de empresas europeas con el objetivo de proveer servicios informáticos para automatizar el diseño, la manufactura y la logística de la producción de anteojos en pequeñas fábricas, que también permite automatizar la comunicación entre diseñadores, oculistas, laboratorios y fabricantes, y iii) Flspace, una plataforma digital de agricultura inteligente, financiada por la Unión Europea, que permite añadir funciones mediante el desarrollo de aplicaciones, incorporar procesos colaborativos entre empresas e integrar fuentes de datos de los usuarios.

9. Plataformas de participación y servicios abiertos

Las plataformas digitales de participación y servicios abiertos son desarrolladas por los gobiernos para habilitar la participación de los ciudadanos y las empresas en el diseño y el desarrollo de aplicaciones y servicios públicos (véase el diagrama III.14). Los ejemplos incluyen las plataformas de datos abiertos, las plataformas de externalización masiva y creación colaborativa y otras formas de ideación y participación de los ciudadanos.

Las plataformas de participación y servicios abiertos ponen a disposición del público un conjunto de datos abiertos y herramientas para el desarrollo de servicios y aplicaciones de interés público. Algunas plataformas también incluyen un catálogo público que permite a los ciudadanos acceder a aplicaciones desarrolladas por terceros y descargarlas. Estas plataformas se financian con presupuesto público, nacional o regional o mediante mecanismos de financiación público-privados.

Diagrama III.14

Plataformas de participación y servicios abiertos



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En el cuadro III.13 se detallan algunos ejemplos de plataformas de participación y servicios abiertos. La mayoría se ubica en países de Europa y Asia. La Comisión Europea ha liderado el desarrollo de dos de estas plataformas (Citadel y CitySDK) en los países de la Unión Europea. Estas plataformas se orientan a la promoción del desarrollo de servicios y aplicaciones de ciudades inteligentes y facilitan el acceso de ciudadanos y emprendedores a bases de datos abiertos, herramientas para el desarrollo de aplicaciones (interfaces, procesos, guías y estándares de interoperabilidad) y catálogos de aplicaciones desarrolladas.

Cuadro III.13

Ejemplos de plataformas de participación y servicios abiertos

Plataforma	Región, país o ciudad	Alcance	Responsable o financiador
Citadel	Unión Europea	Promueve la utilización de datos abiertos publicados por las ciudades en el desarrollo de aplicaciones móviles. Incluye un índice de bases de datos abiertos en ciudades europeas, un convertidor de formatos de las bases de datos, un conjunto de herramientas para el desarrollo de aplicaciones y un catálogo de las aplicaciones generadas.	Comisión Europea, Programa Marco para la Competitividad y la Innovación
CitySDK	Unión Europea	Ofrece un conjunto de herramientas para el desarrollo de aplicaciones y servicios digitales para las ciudades. Las herramientas incluyen interfaces de servicios digitales abiertas e interoperables, así como procesos, guías y estándares de interoperabilidad. Se orienta a participación ciudadana, movilidad y turismo.	Comisión Europea
CitySDK	Estados Unidos	Ofrece herramientas sencillas para utilizar los datos de la Oficina del Censo de los Estados Unidos en el desarrollo de aplicaciones y servicios. Incluye herramientas que facilitan la utilización de las interfaces de programación de aplicaciones (API) del censo y la articulación con otras bases de datos abiertos.	Gobierno de los Estados Unidos, Oficina del Censo de los Estados Unidos, Departamento de Comercio, Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano, Departamento de Agricultura
FIWARE	Unión Europea	Provee una arquitectura abierta (código abierto), un conjunto de especificaciones e interfaces de programación de aplicaciones (API) y capacidades de nube que facilitan el desarrollo de aplicaciones de Internet del futuro en materia de ciudades inteligentes, logística inteligente y fábricas inteligentes.	Comisión Europea
Ámsterdam Smart City	Ámsterdam	Conecta a ciudadanos, empresas, sector académico y gobierno para promover el desarrollo y la prueba de proyectos para el desarrollo de la ciudad. Cualquier persona o empresa puede compartir una idea sobre un proyecto y buscar aliados o patrocinadores.	Gobierno nacional, gobierno de la ciudad, Liander (financiador privado)
Helsinki Region Infoshare	Helsinki	Plataforma de datos abiertos cuyo objetivo es hacer que la información regional de las organizaciones públicas sea más fácilmente accesible para el público (empresas, sector académico, ciudadanos, gobierno). Incluye un sitio (galería) en el que se presentan las aplicaciones y los servicios desarrollados a partir de los datos publicados.	Gobierno de Helsinki y ciudades del área metropolitana. Gobierno nacional
Global Smart City	Busan, República de Corea	Proyecto de desarrollo de una plataforma común y abierta basada en estándares internacionales de la Internet de las cosas (oneM2M). Provee un ambiente de desarrollo para que las pymes y las personas puedan desarrollar aplicaciones y servicios de ciudad inteligente. Los datos recolectados por sensores y dispositivos se comparten para promover la creación de nuevos servicios basados en información.	Gobierno de Busan, SK Telecom

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Citadel, CitySDK, FIWARE, Telefónica, Ámsterdam Smart City y Global Smart City.

Otra iniciativa relevante que se está desarrollando en Europa es FIWARE, que provee una arquitectura abierta y un conjunto de especificaciones y capacidades de nube que facilitan el desarrollo de aplicaciones en temas como ciudades inteligentes, logística inteligente y fábricas inteligentes. El estándar propuesto permite homogeneizar la captación de información procedente de diferentes redes de la Internet de las cosas. Incluye también el programa FIWARE Accelerator, enfocado en pymes y empresas emergentes, que busca promover el desarrollo de tecnologías FIWARE. En asociación con este programa, la Unión Europea impulsó en 2014 una iniciativa que ha movilizado 80 millones de euros para apoyar a pymes y emprendedores en el desarrollo de aplicaciones innovadoras basadas en FIWARE¹⁰.

Como se indica en el cuadro III.13, algunas ciudades de Europa y Asia, como Ámsterdam, Helsinki y Busan, están desarrollando plataformas que promueven la creación, prueba y utilización de aplicaciones de ciudades inteligentes por terceros. Estas plataformas generalmente contienen módulos de datos abiertos y catálogos de aplicaciones y soluciones desarrolladas.

D. Determinantes del desarrollo de los ecosistemas de plataformas

El marco conceptual para el estudio de los determinantes del desarrollo de los ecosistemas de plataformas se compone de siete categorías de factores de desarrollo y un conjunto de condiciones habilitantes, que se describen a continuación sobre la base de la literatura existente, en especial del informe *Digital Entrepreneurship Scoreboard* de la Comisión Europea:

- i) Base de conocimiento: se refiere a las capacidades del país para la generación y el uso del conocimiento científico y tecnológico. Incluye factores como la inversión en investigación y desarrollo (I+D), la base de empresas tecnológicas, la articulación universidad-empresa y el nivel de desarrollo de los sistemas de innovación.
- ii) Marco normativo, regulatorio e institucional: hace referencia al nivel de sofisticación del conjunto de normas, instituciones y procedimientos que determinan la facilidad para empezar, operar y escalar negocios digitales en un país. Incluye aspectos como la facilidad para crear y cerrar empresas, el nivel de complejidad de la regulación societaria y laboral, la fortaleza y estabilidad de los marcos regulatorios, el nivel de protección de la propiedad intelectual, la facilidad para pagar impuestos, la facilidad para hacer cumplir contratos y el nivel de complejidad de los procedimientos para la solución de controversias.
- iii) Infraestructura tecnológica: evalúa el nivel de desarrollo de la infraestructura de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Incluye factores como la penetración de Internet de banda ancha, la penetración de Internet móvil, la velocidad de la banda ancha y el nivel de adopción de tecnologías digitales.
- iv) Oferta de financiamiento: se refiere a la disponibilidad de fuentes de financiación para la innovación digital. Incluye factores como el acceso a la financiación de deuda, la existencia de ángeles inversionistas, la oferta de capital de riesgo y el nivel de sofisticación de los mercados de capitales.
- v) Talento: evalúa la disponibilidad de capital humano capacitado para la innovación y el emprendimiento digitales. Se compone de factores como la calidad de la educación básica y universitaria, la base de profesionales formados en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM) y la base de especialistas en tecnologías digitales avanzadas (grandes datos, Internet de las cosas, inteligencia artificial, cadenas de bloques, entre otras).
- vi) Cultura: hace referencia a la cultura de emprendimiento de la sociedad. Incluye factores como la tolerancia al riesgo, la percepción del emprendimiento como opción laboral y el estatus de los emprendedores.
- vii) Condiciones habilitantes: se refiere a las características físicas, económicas y sociales que inciden en el desarrollo de los ecosistemas de plataformas digitales. Incluyen aspectos como el nivel de desarrollo de la infraestructura de transporte, el estado de la logística interna, el grado de bancarización de la población y el nivel de uso de medios de pago electrónicos, entre otros.

A continuación, se presentan los resultados de un análisis de las barreras a la innovación digital y, por ende, al desarrollo de los ecosistemas de plataformas digitales en seis países latinoamericanos (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú). Para ello, se seleccionaron indicadores que permiten evaluar los factores de desarrollo

¹⁰ Véase FIWARE [en línea] <https://www.fiware.org/>.

de los ecosistemas presentados en la sección previa y se compararon los resultados de cada uno de los seis países (véase el cuadro III.14). Cuando el valor del indicador es inferior al 40% del valor registrado en los Estados Unidos, se considera que el resultado del país es deficiente y el respectivo valor se sombra en rojo. En los casos en que el valor se encuentra entre el 40% y el 80% del valor registrado en los Estados Unidos, se considera que el resultado es moderado y el valor se presenta sombreado en amarillo. Cuando el valor del país corresponde a más del 80% del valor de los Estados Unidos, el país tiene un resultado alto y el valor se sombra en verde.

Cuadro III.14

América Latina (6 países) y los Estados Unidos: barreras a la innovación digital

Factor	Indicador	Fuente	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México	Perú	Estados Unidos
Condiciones habilitantes	Índice de desarrollo del comercio electrónico, 2017	UNCTAD	45,0	62,0	64,0	55,0	42,0	41,0	87,0
	Compradores en Internet, 2017 (como porcentaje de la población)	UNCTAD	16%	23%	26%	6%	6%	3%	67%
	Índice de desempeño logístico, 2016	Banco Mundial	3,0	3,1	3,3	2,6	3,1	2,9	4,0
	Población con cuenta en institución financiera, 2014 (en porcentajes)	Banco Mundial	50%	68%	63%	38%	39%	29%	94%
	Población con tarjeta de crédito, 2014 (en porcentajes)	Banco Mundial	27%	32%	28%	14%	18%	12%	60%
Base de conocimiento	Gasto en investigación y desarrollo (I+D) como porcentaje del PIB, 2015	Banco Mundial	0,6%	1,2%	0,4%	0,2%	0,6%	0,1%	2,8%
	Colaboración universidad-empresa, 2017 (índice) ^a	INSEAD	40,4	37,4	41,1	44,3	43,4	31,8	76,2
Marco normativo, regulatorio e institucional	Índice de <i>Doing Business</i> , 2017	Banco Mundial	58,1	56,5	71,2	69,4	72,3	69,5	82,5
	Protección de la propiedad intelectual, 2017 (índice)	FEM	3,7	4,2	4,4	4,0	4,1	3,5	5,8
	Índice de calidad regulatoria, 2015 ^a	INSEAD	17,7	36,7	76,7	53,7	52,4	54,8	74,9
	Desarrollo de leyes en materia de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), 2014-2015 (índice)	FEM	3,0	3,7	4,5	4,1	3,9	3,4	5,3
Infraestructura tecnológica	Absorción de tecnología en empresas, 2015 (índice)	FEM	4,0	4,8	5,2	4,4	4,6	4,5	6,1
	Penetración de la banda ancha móvil, 2016 (suscriptores cada 100 habitantes)	UIT	80,5	89,5	69,0	45,5	58,5	62,0	120,0
	Velocidad de los servicios en la nube, 2017 (Kbps bajada)	CISCO	7,0	13,2	26,4	7,4	14,6	8,5	46,2
Financiamiento	Índice de atracción de capital de riesgo y capital de inversión, 2018 (índice)	IESE	56,2	57,4	68,1	63,3	62,8	53,2	100,0
	Disponibilidad de capital de riesgo, 2016 (índice)	FEM	2,0	2,5	3,3	2,7	2,8	3,1	4,5
Talento	Porcentaje de graduados en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM), 2015	RICYT	10%	15%	20%	23%	28%	-	17%
	Disponibilidad de científicos e ingenieros, 2018 (índice)	INSEAD	30,3	23,2	61,8	36,5	43,8	21,2	84,7
Cultura	Emprendimiento como opción laboral, 2017 (en porcentajes)	GEM	60,4	-	73,8	68,4	50,7	64,7	63,1
	Intenciones de emprendimiento, 2017 (en porcentajes)	GEM	13,4	15,3	45,8	52,5	13,2	43,2	14,5

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Banco Mundial, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), Foro Económico Mundial, European Institute of Business Administration (INSEAD), Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), Universidad de Cornell, IESE Business School, Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT), Global Entrepreneurship Monitor (GEM), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Cisco Systems.

Nota: FEM= Foro Económico Mundial.

^a Las instituciones que generaron el índice fueron INSEAD, WIPO y la Universidad de Cornell.

Como se observa en el cuadro III.14, en general los países de la región tienen resultados moderados en los indicadores relacionados con las condiciones habilitantes. Los peores resultados, que se interpretan como barreras críticas al desarrollo de la innovación digital, corresponden al uso del comercio electrónico y al acceso y uso de medios de pago electrónicos. En relación con el factor de base de conocimiento, la barrera crítica a la innovación digital encontrada en todos los países, con excepción del Brasil, es el bajo nivel de inversión en I+D como porcentaje del PIB. En el factor de marco normativo, regulatorio e institucional, la mayoría de los países presenta un desempeño moderado. Sobresalen el resultado alto de Chile, Colombia, México y el Perú en el índice de *Doing Business* del Banco Mundial, el alto desempeño de Chile en los indicadores de desarrollo de la regulación y el deficiente desempeño de la Argentina en el indicador general de calidad regulatoria.

Los resultados de la mayoría de los países en materia de infraestructura tecnológica son moderados. No obstante, la velocidad de los servicios en la nube, con excepción de Chile, es deficiente. Los seis países tienen un desempeño moderado en relación con el factor de financiamiento. El desempeño de la mayoría de los países en el factor de talento muestra que el porcentaje de graduados en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas es alto. Sin embargo, el sector privado en todos ellos percibe que la disponibilidad de científicos e ingenieros es baja o moderada. Por último, los seis países obtuvieron resultados altos en el factor cultura.

E. Recomendaciones de política

1. Condiciones habilitantes

- a) Desarrollar el comercio electrónico. Los países de la región deben masificar el comercio electrónico (entre empresas y consumidores (B2C), entre empresas (B2B) y entre consumidores (C2C)) y promover una mayor participación de este tipo de operaciones en la economía. Para esto, se requiere el desarrollo de estrategias nacionales que involucren a todos los actores participantes y reduzcan o eliminen las barreras existentes a la adopción de este tipo de comercio.
- b) Mejorar los sistemas logísticos. Los retos en esta materia se relacionan con las condiciones topográficas y poblacionales de algunos países, las deficiencias en la infraestructura de transporte y las ineficiencias en puntos críticos de esos sistemas, como los puertos, los aeropuertos y los pasos de frontera. El mejoramiento de los sistemas logísticos requiere inversiones en infraestructura y tecnología y la optimización y digitalización de los procesos relacionados.
- c) Avanzar en la inclusión financiera. Los países deben acelerar el acceso de la población al sistema financiero y la utilización de sistemas y medios de pago electrónicos. Para ello, en algunos casos se han implementado políticas nacionales de inclusión financiera y flexibilizado los regímenes que regulan la prestación de esos servicios.
- d) Consolidar la integración regional. Un mecanismo para aprovechar las economías de escala en los mercados de la región consiste en profundizar los procesos de integración comercial, con miras a facilitar a las empresas de un país la oferta de bienes y servicios en los demás países de la región. A partir de una propuesta de la CEPAL de 2015, la Alianza del Pacífico se ha propuesto la creación de un mercado digital regional que permita a las industrias digitales locales aprovechar las economías de escala y de red para competir en un mundo de plataformas globales (Alianza del Pacífico, 2017). De acuerdo con el Banco de Desarrollo de América Latina y la CEPAL (CAF/CEPAL, 2018), para desarrollar un mercado de ese tipo los países de América Latina deberán abordar aspectos como la armonización del mercado de itinerancia (*roaming*) internacional de datos y voz, el despliegue de la infraestructura de puntos de intercambio de tráfico de Internet (IXPs), la armonización de los marcos regulatorios en aspectos como privacidad, protección de datos, seguridad digital y derechos de autor y la coordinación de esfuerzos para la protección de los consumidores.

2. Base de conocimiento

- a) Fomentar la inversión en I+D. Los países de América Latina tienen bajos niveles de inversión en I+D: en cinco de los seis países analizados las inversiones en I+D son inferiores al 1% del producto interno bruto (PIB), mientras que en los Estados Unidos la cifra correspondiente es cercana al 3%. El aumento de la inversión pública y privada en I+D es fundamental para el desarrollo de los ecosistemas de plataformas digitales. Para esto, se pueden incorporar incentivos a este tipo de inversión en las políticas de promoción de la competencia y los régimen tributarios de los países.
- b) Intensificar la apertura de datos del gobierno. Las estrategias de datos abiertos de los gobiernos son un mecanismo importante para fomentar la innovación digital y los ecosistemas de plataformas digitales. Los gobiernos tienen entonces la oportunidad de intensificar sus estrategias de apertura de datos para generar mayores efectos en la innovación digital, a partir de la incorporación de una mayor cantidad de entidades y conjuntos de datos.

3. Marco normativo, regulatorio e institucional

- a) Reducir los trámites y las cargas administrativas. Los regímenes administrativos de los países de América Latina generan altos costos para las empresas. La Argentina y el Brasil son los países con los peores resultados en el índice de Doing Business del Banco Mundial. Si bien los restantes presentan mejores resultados, enfrentan retos en algunos componentes de dicho índice relevantes para el emprendimiento digital, como la facilidad para iniciar negocios, el pago de impuestos y la resolución de insolvencias. Los países de la región deben simplificar las cargas administrativas y tributarias que pueden afectar la creación y el crecimiento de las empresas de base tecnológica, incluidas las de plataformas digitales.
- b) Desarrollar la regulación para la economía digital. Los países de la región deben modernizar sus marcos regulatorios para adaptarlos a las nuevas realidades de los mercados. Los aspectos relevantes para el fomento de las plataformas digitales incluyen: i) la consolidación de condiciones de puerto seguro que limiten las responsabilidades de los intermediarios (incluidas las plataformas) por los contenidos generados por sus usuarios, y ii) la incorporación de criterios flexibles de intervención regulatoria que permitan la “innovación sin permiso” y se sustenten en estudios basados en evidencia, caso por caso, y sujetos al análisis costo-beneficio de la regulación.
- c) Fortalecer la seguridad digital y la protección de la privacidad. Los países deben consolidar políticas y regulaciones flexibles en materia de seguridad digital, protección de datos y protección de consumidores que se orienten a objetivos de política como el fortalecimiento de la seguridad, la privacidad y la protección de los datos personales, así como al fomento de la innovación tecnológica. Las regulaciones en seguridad digital también deberán promover la gestión adecuada de los riesgos de Internet por parte del gobierno, las empresas y los ciudadanos.
- d) Fomentar el comercio digital transfronterizo. Las plataformas originadas en América Latina pueden tener la oportunidad de ofrecer bienes y servicios en un mercado regional con más de 600 millones de habitantes. Para aprovechar esta oportunidad, los países deben adaptar y armonizar sus regulaciones en materia de comercio digital transfronterizo y eliminar las barreras regulatorias y de acceso que dificultan el comercio digital. En su estudio sobre la aceleración del comercio digital en América Latina, Suominen (2017) formula algunas recomendaciones específicas que incluyen: i) eliminar los obstáculos de acceso al mercado y los procedimientos aduaneros que dificultan el comercio digital mediante mecanismos como los programas de “operadores electrónicos de confianza”, la presentación electrónica de procedimientos aduaneros mediante ventanillas únicas y la implementación de procesos simplificados de devolución de artículos; ii) evitar requisitos de localización de datos para los servicios en línea del exterior; iii) avanzar en el mutuo reconocimiento entre países de los proveedores de servicios en línea, y iv) asegurar la interoperabilidad de los pagos.

4. Infraestructura tecnológica

- a) Acelerar el despliegue y aumentar la calidad de la banda ancha. Los países de la región tienen el desafío de acelerar el despliegue de la infraestructura y los servicios de banda ancha para masificar el acceso de los ciudadanos y las empresas a estos servicios. Además, tienen el reto de aumentar la calidad de la banda ancha para soportar el desarrollo y uso de aplicaciones y de los servicios avanzados en la nube. Las opciones de política para lograrlo incluyen la asignación de frecuencias de espectro para Internet de 4G, la regulación para la compartición de infraestructura y la definición de hojas de ruta para la incorporación de los servicios móviles de quinta generación (5G).
- b) Avanzar en el despliegue de conexiones de la Internet de las cosas. Los países deben avanzar en el despliegue de dispositivos inteligentes conectados mediante sistemas de comunicación máquina a máquina (M2M). Algunas opciones de política son: i) acelerar la tasa de adopción del protocolo IPv6; ii) definir políticas que coordinen los esfuerzos y las regulaciones de diferentes entidades de gobierno en materia de Internet de las cosas, grandes datos, gestión de espectro y ciudades inteligentes, y iii) promover la desgravación arancelaria para equipos y sensores de la Internet de las cosas.
- c) Apoyar a las mipymes en la digitalización y el comercio digital. Para que los beneficios de las plataformas digitales lleguen a las mipymes, es relevante que avancen en la adopción de tecnologías digitales e incrementen su participación en el comercio digital local y transfronterizo. Los gobiernos pueden contribuir a acelerar estos procesos mediante la implementación de programas de apoyo a la adopción tecnológica y el uso del comercio electrónico por parte de estas empresas.

5. Financiamiento

- a) Aumentar y diversificar la oferta de financiamiento al emprendimiento tecnológico. Es relevante que los países fomenten el aumento y la diversificación de la oferta de financiamiento para el emprendimiento. Para esto, las opciones de política incluyen la definición de la normativa para el desarrollo del financiamiento colectivo, la atracción y creación de fondos de capital de riesgo y el fomento de la actividad de ángeles inversionistas.

6. Talento y cultura emprendedora

- a) Aumentar la base de profesionales en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Los países de la región deben implementar estrategias para aumentar la base de profesionales en estas materias en el corto y mediano plazo. Para esto, pueden implementar iniciativas como la cofinanciación de estudios de pregrado o posgrado en estas áreas, la creación de incentivos (visas, facilidades) para atraer talento internacional y la promoción de programas de formación desarrollados por el sector privado. Para estimular el surgimiento de nuevas empresas de plataformas digitales también es importante que los programas y modelos educativos de las profesiones basadas en CTIM incorporen el desarrollo de habilidades como administración de negocios, negociación, liderazgo y trabajo en equipo.
- b) Aumentar la base de talento especializado en tecnologías avanzadas. Para desarrollar los ecosistemas de plataformas digitales los países deben aumentar la cantidad de profesionales especializados en tecnologías avanzadas, como la analítica de grandes datos, la Internet de las cosas, la inteligencia artificial y las cadenas de bloques. Para eso, pueden implementar estrategias como la cofinanciación de estudios de posgrado o la atracción de talento internacional.

Por último, el desarrollo de las plataformas digitales y sus ecosistemas supone consolidar o, en algunos casos, incluso crear una cultura que favorezca el emprendimiento tecnológico. Los países analizados, y posiblemente todos los países de la región, tienen la oportunidad de fortalecer culturas que impulsen el desarrollo de emprendimientos tecnológicos de gran dinamismo. Estas consideraciones son a menudo las más difíciles de encarar, en la medida en que dependen de variables generalmente poco precisas y acciones de difícil formulación e implementación. Pese a estas dificultades, los países de la región deben fortalecer el espíritu empresarial y contribuir a que las personas asuman riesgos e impulsen la innovación tecnológica. Las instituciones de educación básica, media y superior, las entidades de gobierno, las empresas y sus asociaciones y las organizaciones de la sociedad civil tienen un amplio espacio de actuación en ese sentido.

Bibliografía

- Accenture (2016), *Five Ways to Win with Digital Platforms*, G20 Young Entrepreneurs' Alliance [en línea] https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/PDF-29/Accenture-Five-Ways-To-Win-With-Digital-Platforms-Full-Report.pdf.
- Alianza del Pacífico (2017), "Hoja de ruta: Subgrupo de Agenda Digital" [en línea] <https://alianzapacifico.net/?wpdmld=8783>.
- Bhatia, A. y otros (2017), "Who will win the IoT platform wars?", Boston Consulting Group (BCG), 29 de junio [en línea] <https://www.bcg.com/en-cl/publications/2017/technology-industries-technology-digital-who-will-win-the-iot-platform-wars.aspx>.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2015), "Inclusión financiera en América Latina y el Caribe: coyuntura actual y desafíos para los próximos años", *Documento para Discusión*, N° IDB-DP-385, junio.
- Bouskela, M. y otros (2016), "La ruta hacia las Smart Cities: migrando de una gestión tradicional a una ciudad inteligente", *Monografía del BID*, N° 454, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- CAF/CEPAL (Banco de Desarrollo de América Latina/Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2018), "Mercado digital regional", *Documentos de Proyectos*, Santiago, en prensa.
- Capgemini (2017), "Smart factories: how can manufacturers realize the potential of digital industrial revolution" [en línea] <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/05/dti-smartfactories-webversion.pdf>.
- Comisión Europea (2016), "Commission Staff Working Document. Online Platforms: Accompanying the document Communication on Online Platforms and the Digital Single Market" (COM(2016) 288) [en línea] <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/commission-staff-working-document-online-platforms>.
- _____(2015a), *Digital Entrepreneurship Scoreboard 2015* [en línea] https://ec.europa.eu/growth/content/digital-entrepreneurship-scoreboard-2015-0_en.
- _____(2015b), "Public consultation on the regulatory environment for platforms, online intermediaries, data and cloud computing and the collaborative economy" [en línea] <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/public-consultation-regulatory-environment-platforms-online-intermediaries-data-and-cloud>.
- _____(2013), *Use of Social Media by European SMEs*, Dirección General de Redes de Comunicación, Contenido y Tecnologías.
- Copenhagen Economics (2015), *Online Intermediaries: Impact on the EU Economy*, EDIMA [en línea] <https://www.copenhageneconomics.com/dyn/resources/Publication/publicationPDF/2/342/1454501505/edima-online-intermediaries-eu-growth-engines.pdf>.
- COTEC (Fundación COTEC para la Innovación) (2016), *Iniciativas empresariales y políticas públicas para acelerar el desarrollo de un ecosistema digital iberoamericano* [en línea] http://cotec.es/media/inf_CIPC_vfinal.pdf.
- Cullen International (2016a), *Hacia la estrategia para el mercado único digital de América Latina*, Banco de Desarrollo de América Latina (CAF).
- De Reuver M., C. Sorensen y R. Basole (2017), "The digital platform: a research agenda", *Journal of Information Technology*.
- eBay (2015), *European Small Online Business Trade Summary 2015*.
- Evans, D. y R. Schmalensee (2007), "Industrial organization of markets with two-sided platforms", *Competition Policy International*, vol. 3, N° 1.
- Evans, P. C. y A. Gawer (2016), "The rise of the platform enterprise: a global survey", *The Emerging Platform Economy Series*, N° 1, Center for Global Enterprise.
- FedEx (2017), "Estudio de FedEx indica que las pymes en América Latina muestran crecimiento y optimismo", FedEx Newsroom [en línea] about.van.fedex.com.
- Foro Económico Mundial (2017), *Digital Transformation Initiative: Unlocking B2B Platform Value* [en línea] <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-platform-report-final-3-26-17.pdf>.
- García Zaballos, A. y E. Iglesias Rodríguez (2017), "Economía digital en América Latina y el Caribe: situación actual y recomendaciones", *Monografía del BID*, N° 570, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Gurley, B. (2013), *A Rake Too Far: Optimal Platform Pricing Strategy, Above the Crowd*.
- Hagiu A. y J. Wright (2015), "Multi-sided platforms", *Working Paper*, N° 15-037, Harvard Business School.
- _____(2014), "Marketplace or reseller?", *Working Paper*, N° 13-092, Harvard Business School.
- _____(2014), *Decisiones estratégicas para plataformas multilaterales*, Harvard Deusto Business Review, N° 237, Harvard Deusto.
- IMD (IMD World Competitiveness Center) (2017), *IMD World Digital Competitiveness Ranking 2017*.
- KPCB (Kleiner Perkins Caufield Byers) (2017), "Internet Trends 2017 – Code Conference" [en línea] kpcb.com/InternetTrends.
- Linnworks (2016), "A complete list of online marketplaces across the globe" [en línea] <http://blog.linnworks.com/complete-list-of-online-marketplaces>.
- McKinsey Digital (2015), *Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector* [en línea] https://www.mckinsey.de/files/mck_industry_40_report.pdf.

- MGI (McKinsey Global Institute) (2017), "How to counter three threats to growth in Latin America" [en línea] <https://www.mckinsey.com/global-themes/employment-and-growth/how-to-counter-three-threats-to-growth-in-latin-america>.
- (2016), *Digital Globalization: The New Era of Global Flows* [en línea] <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/digital-globalization-the-new-era-of-global-flows>.
- (2015), *A Labor Market that works: Connecting Talent with Opportunity in the Digital Age*.
- Makkonen J. (2015), "How to choose the right business model for your marketplace", Marketplace Academy [en línea] <https://www.sharetribe.com/academy/how-to-choose-the-right-business-model-for-your-marketplace/>.
- Martens B. (2016), "An economy policy perspective on online platforms", *Digital Economy Working Paper*, Nº 2016/05, Institute for Prospective Technological Studies Digital Economy.
- OECD (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (2016), *Entrepreneurship at a Glance 2016*, París, OECD Publishing.
- OCDE/CEPAL (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2012), *Perspectivas económicas de América Latina 2013: políticas de pymes para el cambio estructural* (LC/G.2545), París, OECD Publishing.
- Oxera (2015), "What are the benefits of online platforms?" [en línea] <https://www.oxera.com/Latest-Thinking/Publications/Reports/2015/What-are-the-benefits-of-online-platforms.aspx>.
- Parlamento Europeo (2014), *Mapping Smart Cities in the EU*, Dirección General de Políticas Internas.
- PwC (2017), *IAB Internet Advertising Revenue Report 2016*.
- Rochet J. y J. Tirole (2006), "Two-sided markets: a progress report", *RAND Journal of Economics*.
- (2003), "Platform Competition in Two-Sided Markets", *Journal of the European Economic Association*, vol.1, Nº 4.
- Suominen, K. (2017), *Aceleración del comercio digital en América Latina y el Caribe*, Late.
- Telefónica (2016), "FIWARE, el estándar que necesita el IoT" [en línea] <https://iot.telefonica.com/blog/2016/09/es-fiware-estandar-iot>.
- The Wall Street Journal (2017), *Global Advertising Growth to Slow Slightly This Year* [en línea] <https://www.wsj.com/articles/global-advertising-growth-to-slow-slightly-this-year-1497412803>.
- UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (2016), *A Review of Micro, Small and Medium Enterprises in the ICT Sector*.
- Unión Europea (2017), *Roundtable on Digitising European Industry: Working Group 2 – Leadership in Industrial Platforms* [en línea] https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/dei_wg2_1st_report_20161223.pdf.
- Wertz, B. y A. Tran Kingyens (2015), *A Guide to Marketplaces*, Versionone.
- Wilkinson M. (2017), *Crowdfunding Models Explained*, Crowcube.



CAPÍTULO

IV

Formación de recursos humanos para el uso de tecnologías digitales en América Latina

- A. La brecha de capital humano
- B. Tecnologías digitales maduras y avanzadas
- C. La situación en siete países latinoamericanos
- D. Implicaciones de política pública

Bibliografía

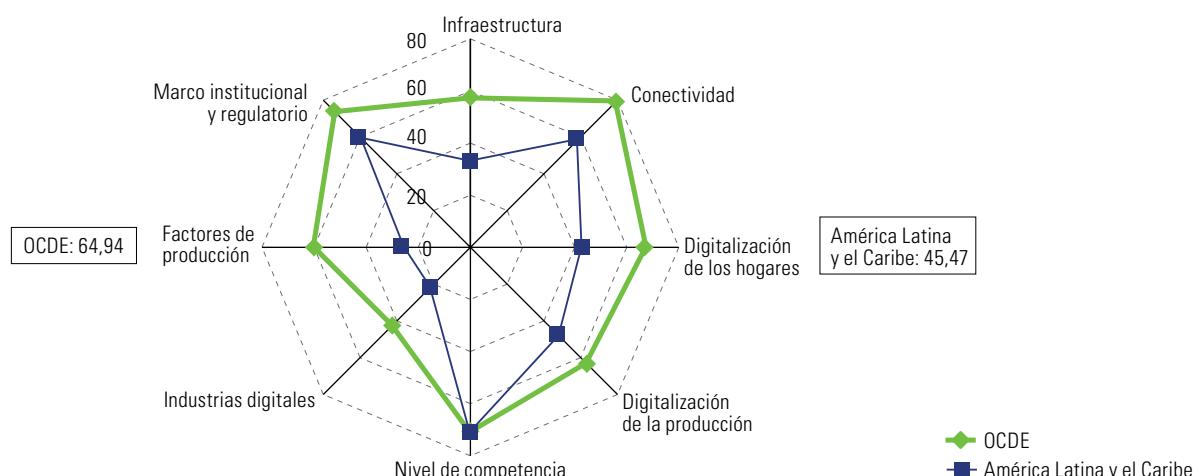
Anexo IV.A1

A. La brecha de capital humano¹

El desarrollo de las industrias digitales en un país requiere que las empresas puedan acceder a recursos de inversión, capital humano y capacidad de innovación. En particular, el capital humano es un insumo imprescindible para la digitalización de la estructura productiva y el acceso a este es fundamental, no solo para el desarrollo de las industrias digitales sino también para la transformación de las industrias tradicionales. A partir del reconocimiento de esta necesidad, en el presente capítulo se cuantifica y estudia la situación de la formación técnica y profesional de recursos humanos que afecta la utilización de las tecnologías digitales en América Latina. Ello es particularmente importante porque, como muestran Katz y Callorda (2017), una de las brechas más importantes entre la región y el mundo desarrollado se registra en los factores de producción considerados en el índice de desarrollo del ecosistema digital del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), incluido el capital humano (véase el gráfico IV.1).

Gráfico IV.1

América Latina y el Caribe y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE): índice de desarrollo del ecosistema digital del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), 2015



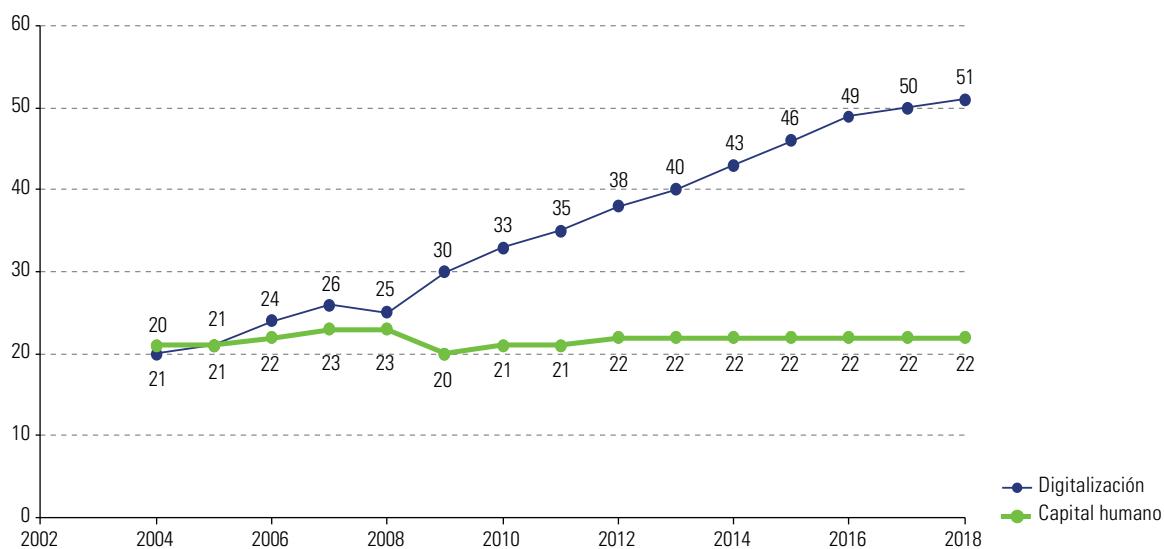
Fuente: Telecom Advisory Services, *Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: el Observatorio CAF del Ecosistema Digital*, Caracas, Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), 2017; Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF), Observatorio del Ecosistema Digital en América Latina y el Caribe 2017 [en línea] https://www.caf.com/app_tic/.

En la región, el aumento del índice de que se muestra en el gráfico IV.2 no fue acompañado por un crecimiento comparable del índice de capital humano, que combina el porcentaje de ingenieros en la fuerza de trabajo y el porcentaje de mano de obra con formación superior a la educación secundaria (Katz y Koutroumpis, 2013). La diferente evolución de esos índices puede explicarse, al menos parcialmente, porque el avance de la digitalización está determinado en gran medida por un proceso de difusión de innovación cuyas variables explicativas son la comunicación entre los adoptantes y la proposición de valor del nuevo producto, es decir, la manera en que se puede generar valor con un producto. Por otra parte, dado que el desarrollo de capital humano es fuertemente inercial, su evolución tiene lugar con la lentitud característica de toda dinámica social. De todas maneras, el hecho de que el índice de capital humano haya crecido un 23% y la digitalización un 145% entre 2004 y 2014 muestra la limitada capacidad de la región para agregar valor local a los productos y servicios digitales, con los consiguientes efectos negativos en la productividad y el crecimiento económico.

¹ Este capítulo fue elaborado por Raúl L. Katz, Director de Investigación de Estrategia Empresarial de The Columbia Institute for Tele-Information (CITI), de la Universidad de Columbia, Nueva York.

Gráfico IV.2

América Latina: índice de digitalización e índice de capital humano, 2004-2014



Fuente: R. Katz, F. Callorda y M. Lef, *Iniciativas empresariales y políticas públicas para acelerar el desarrollo de un ecosistema digital iberoamericano*, Madrid, Consejo Iberoamericano para la Productividad y la Competitividad (CIPC)/Fundación Cotec para la Innovación, 2016.

La definición de esas políticas requiere un diagnóstico del alcance y las razones de esa brecha. En primer lugar, ¿cuál es la principal razón de la brecha de capital humano en las disciplinas técnicas y profesionales que contribuyen al desarrollo de la digitalización? ¿Se debe a la limitada oferta de programas de formación o a la falta de interés de los estudiantes en carreras técnicas, estadísticas, matemáticas o científicas? En otras palabras, ¿es resultado de déficits en la oferta o en la demanda?

Las respuestas a estas preguntas ayudan a determinar las áreas que se deben priorizar en las políticas públicas. Si el problema radica en la oferta de infraestructura educativa en carreras técnicas, las iniciativas para resolvérla incluirán, entre otras: i) la implementación de programas de formación docente, ii) la coordinación de las prioridades de la educación superior con los actores del sistema, y iii) el impulso a la creación de carreras cortas. Por el contrario, si el problema obedece a la demanda, se debería tratar de: i) profundizar y universalizar las iniciativas para incorporar la formación en ciencias informáticas en las escuelas, ii) promover un aumento sostenido de las tasas de matriculación en las carreras técnicas, iii) generar mecanismos de señalización públicos y privados para incrementar la demanda de carreras técnicas, y iv) establecer sistemas de seguimiento entre el nivel secundario y los programas terciarios técnicos y científicos para facilitar la elección de carreras tecnológicas.

Aunque es probable que el cierre de la brecha de capital humano requiera políticas públicas orientadas tanto a la oferta como a la demanda, el centro de interés de este capítulo radica en la determinación y cuantificación de los programas de formación técnica en disciplinas vinculadas con la preparación de recursos humanos para avanzar en la digitalización. Asimismo, en los casos en que se dispone de las estadísticas pertinentes, se examinan las tendencias en la matriculación y la graduación de estudiantes en las carreras técnicas para entender las dinámicas relacionadas con la demanda.

Los análisis disponibles sobre capital humano en el ámbito de las tecnologías digitales se basan en estadísticas como el número de ingenieros y científicos como porcentaje de los graduados de estudios terciarios o el porcentaje de la fuerza de trabajo con formación universitaria (generalmente provenientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO)². Sin embargo, esas estadísticas no incluyen la disponibilidad de recursos formados en disciplinas relacionadas con el desarrollo de la digitalización —por ejemplo, administración de empresas o ciertas artes gráficas— que no se

² Véase Instituto de Estadística de la UNESCO (IEU), 2016 [en línea] <http://uis.unesco.org/>.

insertan claramente en el contexto de carreras técnicas. Por ello, para entender y cuantificar las brechas de capital humano, es necesario ampliar el estudio de la oferta para analizar la disponibilidad de carreras en otras facultades o departamentos universitarios además de los de ingeniería y ciencias exactas.

Dado que las formulaciones genéricas sobre la región ocultan diferencias importantes entre países, los diagnósticos deben realizarse a nivel nacional para determinar y entender el eje fundamental en el que se deben enfocar las políticas públicas para el desarrollo de capital humano en el ámbito de las tecnologías digitales.

Por último, el análisis de los programas de formación debe tener en cuenta el nivel del título universitario otorgado. Si bien el número de programas de formación para estudios de grado puede ser importante, la oferta de capacitación de posgrado (especialmente doctorados) en tecnologías digitales podría ser relativamente limitada, con el consiguiente efecto negativo en la intensidad de las investigaciones básicas y aplicadas de alto nivel en los países estudiados. Esta situación podría perpetuar la dependencia del desarrollo de productos digitales de la región respecto de los países industrializados.

En resumen, en este capítulo se procura responder a cuatro preguntas clave para América Latina, a saber:

- i) ¿Cuál es la situación en términos de oferta de programas de formación en el área de tecnologías digitales más allá de la ingeniería?
- ii) ¿Cuál es la situación en lo que se refiere a los programas de capacitación de recursos humanos en tecnologías digitales de avanzada?
- iii) ¿Cuál es la oferta de programas de formación a nivel de títulos de carreras cortas, títulos de grado, maestrías y doctorados?
- iv) ¿Cuál es el número de profesores disponibles en estas disciplinas?

Para responder a estas preguntas, se analizó en detalle la oferta de programas universitarios de siete países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Uruguay.

Tras hacer referencia en el inicio del capítulo a las tecnologías digitales de avanzada que requieren la formación de recursos humanos en disciplinas específicas, se definen la estructura de los departamentos universitarios y los programas que ofrecen formación académica y el tipo de carreras por país. Sobre esta base estadística, se presenta un análisis comparado de la situación de los siete países. Por último, se formulan recomendaciones de política pública que permitirían subsanar algunos de los problemas observados. En el anexo se presenta el análisis detallado por país.

B. Tecnologías digitales maduras y avanzadas

La distinción entre tecnologías digitales maduras y de avanzada se resaltó en Katz (2017a). Las primeras incluyen la banda ancha, la informática de gestión y las telecomunicaciones móviles, mientras que entre las segundas se cuentan la robótica, la inteligencia artificial (aprendizaje de máquina o *machine learning*), la computación en la nube, la Internet de las cosas, la impresión 3D y los sensores inteligentes. Por ello, al realizar un diagnóstico de la situación de la formación técnica y profesional no se deben analizar los programas de capacitación de manera genérica (por ejemplo, ingeniería eléctrica), sino establecer la existencia de carreras especializadas destinadas a la formación en tecnologías avanzadas y cuantificarlas. Esto es importante porque la abundancia de programas de formación en tecnologías básicas podría coexistir con la falta de oferta en el campo de las tecnologías de la nueva revolución industrial.

La distinción entre tecnologías digitales maduras y avanzadas se basa en su situación en el proceso de adopción masiva en la estructura productiva. En términos generales, todo ciclo de vida tecnológico tiene tres etapas: desarrollo, adopción e impacto económico. El hecho de que una tecnología avanzada ya esté desarrollada (al menos en los aspectos técnicos esenciales que permitan su incorporación en un proceso productivo) no significa que su adopción se haya masificado. Los tiempos y los consiguientes rezagos varían según la etapa en que se encuentre cada tecnología.

Al igual que otras revoluciones tecnológicas, como las impulsadas por la máquina de vapor, la electricidad o el automóvil, la digitalización evoluciona en olas (Katz, 2017a). La primera ola en el ámbito de las tecnologías digitales se relacionó con la introducción y la adopción de tecnologías hoy maduras, como los sistemas informáticos de gestión, el procesamiento automático de datos aplicado a los negocios y las tecnologías de telecomunicaciones que permiten el acceso remoto a la información. La segunda ola conllevó la difusión de Internet y sus correspondientes plataformas (buscadores, mercados electrónicos o *e-marketplaces*, entre otros), que permiten la vinculación entre consumidores y empresas y entre empresas para la compra y venta de insumos y la distribución de productos en el mercado. Por último, la tercera ola incluye la difusión de tecnologías enfocadas en el mejoramiento de la toma de decisiones gerenciales y la automatización de operaciones rutinarias en la producción de bienes y servicios. La duración de las etapas de los ciclos de vida varía en cada ola (véase el cuadro IV.1).

Cuadro IV.1

Digitalización: innovación tecnológica, adopción e impacto

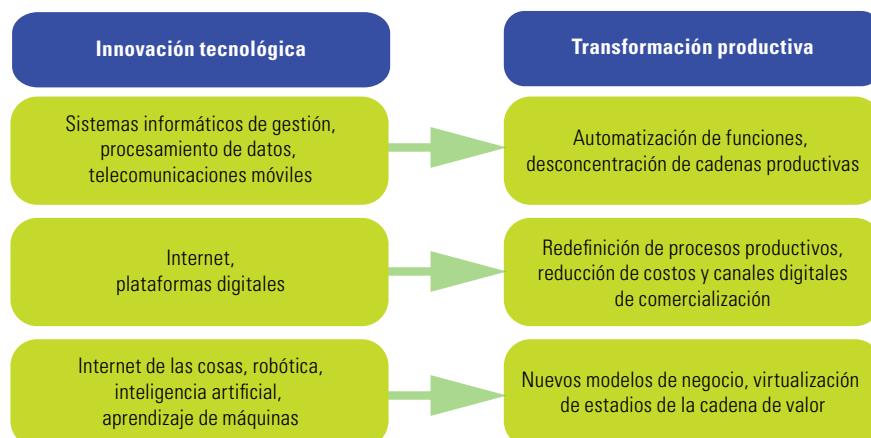
Innovación tecnológica	Desarrollo	Adopción	Período de impacto económico y social
Primera ola: sistemas informáticos de gestión, procesamiento automático de datos y telecomunicaciones móviles	1950-1975	1960-2000	1990-2010
Segunda ola: masificación de Internet, plataformas digitales, computación en la nube	1970-1990	1995-en curso	2005-en curso
Tercera ola: la Internet de las cosas, robótica, inteligencia artificial, aprendizaje de máquina, cadena de bloques (<i>blockchain</i>)	1980-en curso	2010-en curso	A partir de 2020

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Cada ola tiene un efecto creciente en los procesos productivos (véase el diagrama IV.1). La primera permitió la automatización de funciones discretas, como el manejo de inventario y la gestión de líneas de producción. Al mismo tiempo, facilitó la descentralización de funciones, al optimizar el acceso a factores de producción. A partir de ello, las empresas pudieron localizar algunas funciones productivas en regiones con mejores condiciones de acceso a recursos como materias primas y trabajo, mientras la tecnología les permitía mantener una estructura centralizada.

Diagrama IV.1

Olas de desarrollo tecnológico y etapas de la transformación productiva



Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

La segunda ola —basada en la introducción de Internet— permitió la reconfiguración de los procesos productivos de principio a fin. Las plataformas basadas en Internet redujeron los costos operativos y de búsqueda de bienes y servicios al mejor precio. Al mismo tiempo, Internet consintió el despliegue de canales de distribución digitales para llegar al consumidor, aumentando el alcance y la cobertura de los mercados. La tercera ola —conformada por el conjunto de tecnologías de avanzada— permite encarar la refundación de empresas tradicionales a partir de la generación de nuevos modelos de negocios, la virtualización de estadios de la cadena de valor y la redefinición de las fronteras de eficiencia de los negocios (Williamson, 1985).

En este contexto, las brechas de capital humano deben conceptualizarse en función de cada ola y de la etapa del ciclo de vida en que se encuentra. Por ejemplo, las brechas de capital humano en la etapa de desarrollo se refieren a la formación limitada de investigadores involucrados en la creación de nuevos productos y servicios, mientras que la falta de capital humano en la etapa de adopción se refiere a la provisión limitada de recursos para la asimilación de tecnologías en las empresas. Al más alto nivel, un investigador involucrado en el desarrollo de tecnologías digitales debe poseer un título de grado y un posgrado (por lo menos una maestría o, mejor aún, un doctorado). Por otra parte, un profesional dedicado a la incorporación de tecnología digital en procesos productivos debe poseer una certificación de estudios de grado y quizás una maestría, aunque también puede estar calificado a partir de un título de carrera corta (como una tecnicatura o certificado).

Estos conceptos genéricos deben adaptarse a cada ola de la digitalización. Por ejemplo, el capital humano requerido para la asimilación de tecnologías maduras necesita una formación en áreas básicas de informática de gestión, mientras que la incorporación de tecnologías avanzadas en la cadena productiva demanda una formación en especializaciones como inteligencia artificial y robótica. Por ello, el análisis de la situación de los programas de formación de capital humano en el marco de la digitalización que se presenta a continuación se enfoca en cada una de las olas de innovación digital y en cada etapa de su ciclo de vida.

C. La situación en siete países latinoamericanos

A nivel específico, el objetivo de este capítulo es determinar y medir la oferta de programas de formación en carreras relacionadas con la digitalización, diferenciando entre tecnologías digitales básicas y avanzadas. Debido a la falta de información detallada por país, se procedió a compilar los programas y cursos de manera gradual, comenzando por el número total de universidades, institutos universitarios y terciarios no universitarios en cada país. A partir de este universo, se descartaron las instituciones que no ofrecen diplomas en informática, ingeniería eléctrica o electrónica, estadística o programas similares³. Una vez compilada la lista de establecimientos que ofrecen por lo menos un diploma en estas disciplinas, se identificaron los que incluyen cursos en: i) robótica y control; ii) inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, y iii) grandes datos y analítica.

En los casos en que la denominación del curso no era exacta, se realizó una inferencia de acuerdo con el siguiente mapa de categorización (véase el cuadro IV.2).

Con ello, se obtuvo la lista de todos los diplomas y cursos relacionados con esas temáticas disponibles en cada uno de los siete países. En muchos casos se intentó contactar directamente al departamento o la facultad correspondiente para solicitar información, pero la tasa de respuesta fue muy baja. Asimismo, se trató de establecer el número de profesores en las disciplinas mencionadas. En algunos casos, esta información figura en los sitios web de las universidades o instituciones. Cuando no se obtuvieron los datos directamente en los apartados donde se debería brindar la información, se realizó una búsqueda intensiva en portales oficiales vinculados⁴. De esa manera, se obtuvo la lista de todos los programas y cursos disponibles en cada país.

³ Se incluye la estadística pues muchos programas de aprendizaje automático están comprendidos en esos departamentos.

⁴ Anuarios de las universidades o micrositios de los portales oficiales de las instituciones.

Cuadro IV.2
Categorización de cursos

Nomenclatura de cursos	Asignación
- Control de sistemas - Simulación - Automatización	Robótica y control
- Inteligencia empresarial - Análisis de negocios - Mercadotecnia digital - Minería de datos	Grandes datos y analítica
- Inteligencia artificial - Interacción hombre-máquina - Sistemas inteligentes - Aprendizaje de máquina	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina

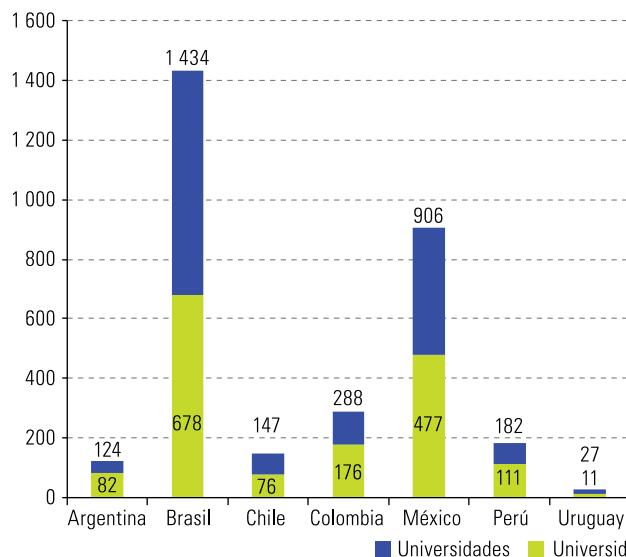
Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Sobre la base de esos datos, se constata una abundante oferta de programas de capacitación en tecnologías digitales en los siete países analizados. En conjunto, se registran 1.611 instituciones de estudios superiores que ofrecen programas de capacitación en tecnologías digitales, cifra equivalente al 52% del total de instituciones. La proporción más alta se registra en la Argentina, donde el 66% de las instituciones ofrecen programas de formación en tecnologías digitales. El porcentaje más bajo (41%) corresponde al Uruguay (véase el gráfico IV.3).

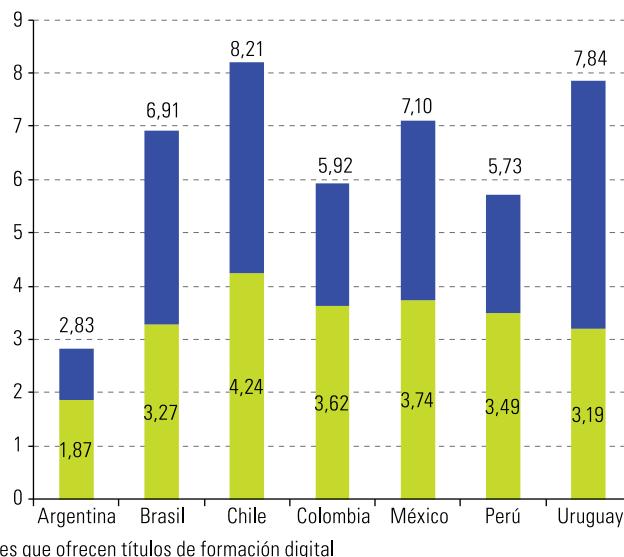
Gráfico IV.3

América Latina (7 países): universidades que ofrecen programas formales de formación en tecnologías digitales
(En número de universidades y por millón de habitantes)

A. Número de universidades



B. Por millón de habitantes



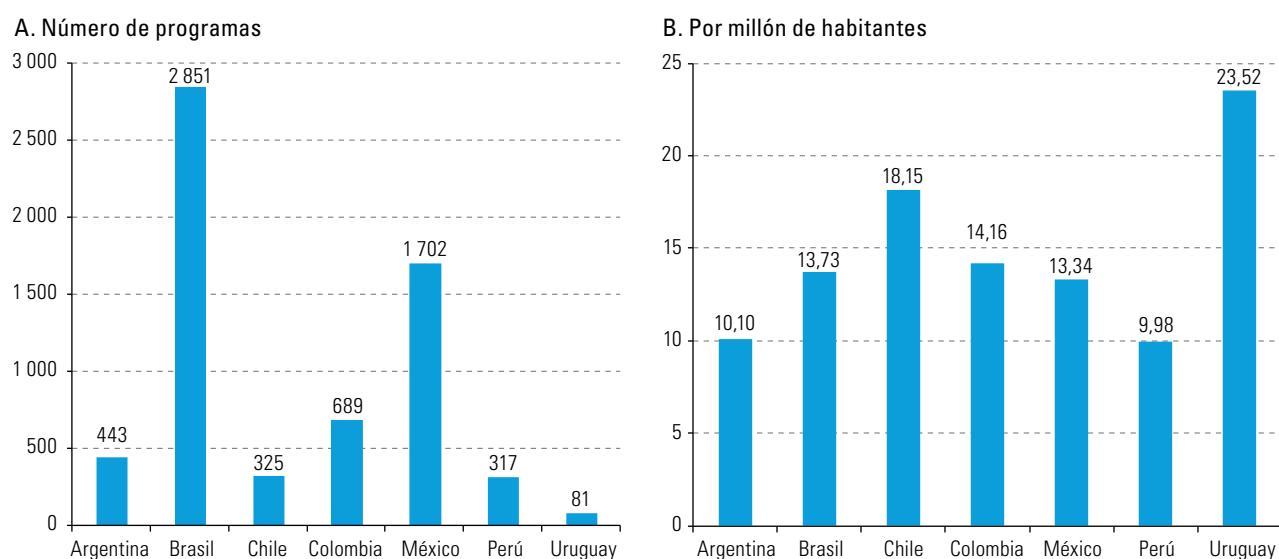
Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Sin embargo, al normalizar el número de universidades por la población de cada país, la mayor densidad de instituciones se registra en Chile, México y Colombia. La más baja se observa en la Argentina, con 1,87 instituciones por millón de habitantes que ofrecen programas formales de formación en tecnologías digitales, en contraste con el valor máximo de 4,24 en Chile.

Es habitual que una institución ofrezca más de un programa de formación en tecnologías digitales. En los siete países analizados se ofrecen 6.408 programas formales. El mayor número corresponde al Brasil, seguido de México, Colombia, la Argentina, Chile, el Perú y el Uruguay (véase el gráfico IV.4).

Gráfico IV.4

América Latina (7 países): programas formales de formación en tecnologías digitales
(En número de programas y por millón de habitantes)



Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

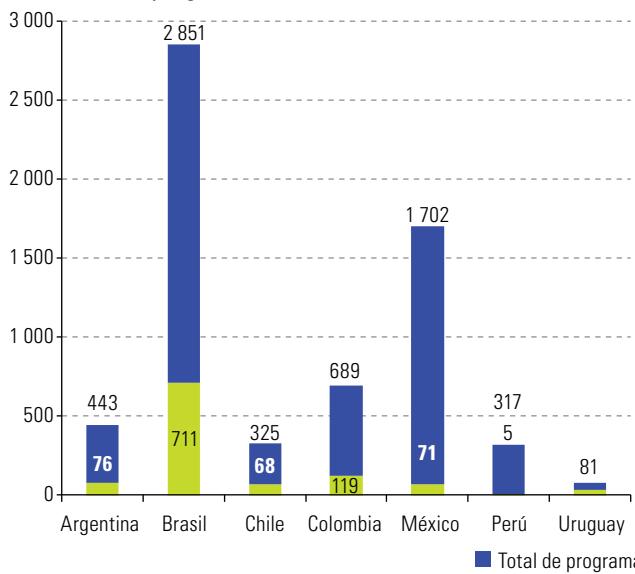
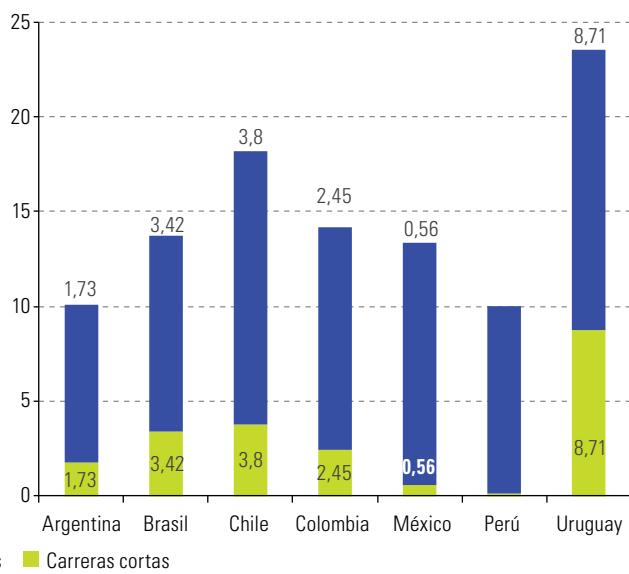
Al normalizar el número de programas formales por millón de habitantes, el Uruguay (23,52) y Chile (18,15) encabezan la oferta, mientras que el Perú (9,98) y la Argentina (10,10) quedan más rezagados. Por otra parte, en los siete países se identificaron 1.080 carreras cortas en tecnologías digitales. La mayor proporción de programas cortos (tecnicaturas) en el total de programas formales se observa en el Uruguay, donde asciende al 37% (véase el gráfico IV.5).

Al normalizar la oferta de programas cortos por millón de habitantes, el Uruguay encabeza nuevamente el grupo de países estudiados (con un valor de 8,71), mientras que el Perú y México están más rezagados. La disponibilidad de carreras cortas en tecnologías digitales es esencial para cerrar la brecha de formación de capital humano a corto plazo. En este sentido, la estadística normalizada indicaría que el Uruguay es el país más preparado para resolver esta carencia.

La mayoría de los programas objeto de estudio incluyen cursos relacionados con robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica, que suman un total de 7.938. El país donde se ofrece el mayor número de cursos en tecnologías digitales avanzadas es el Brasil (3.141), mientras que el menor número se registra en el Uruguay (101) (véase el gráfico IV.6).

Gráfico IV.5

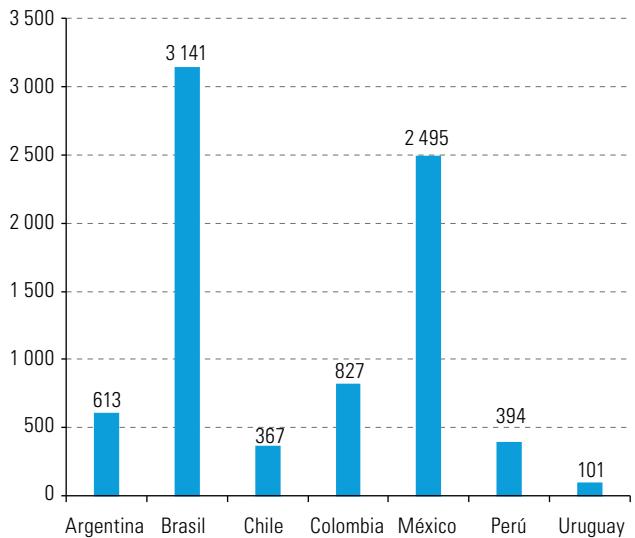
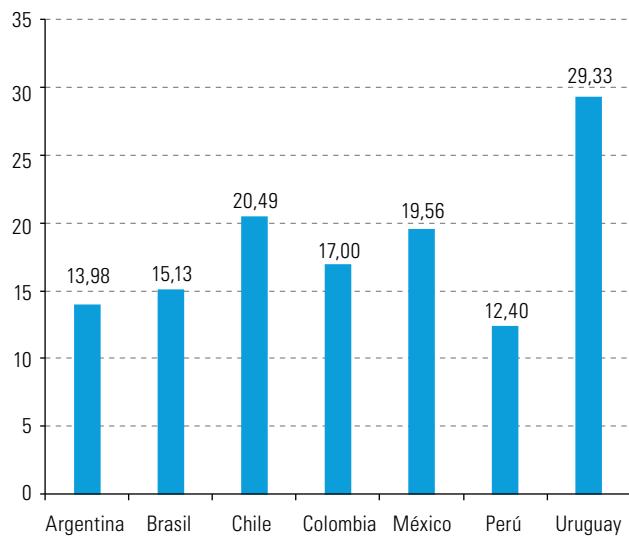
América Latina (7 países): programas formales y carreras cortas de formación en tecnologías digitales
(En número de programas y por millón de habitantes)

A. Número de programas**B. Por millón de habitantes**

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie Desarrollo Productivo, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Gráfico IV.6

América Latina (7 países): cursos de formación en tecnologías digitales avanzadas
(En número de cursos y por millón de habitantes)

A. Número de cursos**B. Por millón de habitantes**

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie Desarrollo Productivo, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Al normalizar estos datos por millón de habitantes, el Uruguay es nuevamente el país con mayor densidad de oferta de cursos en tecnologías digitales avanzadas (29,93), mientras que el menor valor se registra en el Perú (12,40).

Robótica y control, e inteligencia artificial y aprendizaje automático son las tecnologías digitales de avanzada a las que se dedica el mayor número de cursos (2.989 y 2.815 respectivamente), mientras que los cursos relativos a grandes datos y analítica son 2.134 (véase el cuadro IV.3). El Brasil y México ofrecen el 71% de los cursos sobre tecnologías avanzadas en los siete países estudiados.

Cuadro IV.3

América Latina (7 países): cursos de formación en tecnologías digitales avanzadas, por área

País	Robótica y control		Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina		Grandes datos y analítica		Total	
	Nominal	Por millón de habitantes	Nominal	Por millón de habitantes	Nominal	Por millón de habitantes	Nominal	Por millón de habitantes
Argentina	196	4,47	216	4,93	201	4,58	613	13,98
Brasil	1 032	4,97	1 218	5,87	891	4,29	3 141	15,13
Chile	194	10,83	89	4,97	84	4,69	367	20,49
Colombia	441	9,06	208	4,28	178	3,66	827	17,00
México	907	7,11	944	7,40	644	5,05	2 495	19,56
Perú	183	5,76	111	3,49	100	3,15	394	12,40
Uruguay	36	10,45	29	8,42	36	10,45	101	29,33
Total	2 989	6,22	2 815	5,85	2 134	4,44	7 938	16,51

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Al normalizar la oferta de cursos por la matrícula universitaria mediante un índice calculado como el número de cursos multiplicado por un millón y dividido por la matrícula, se verifica que México y el Uruguay muestran la mayor densidad de oferta de materias relacionadas con las tecnologías digitales avanzadas (véase el cuadro IV.4). La menor densidad de oferta total de cursos se observa en la Argentina. En temas específicos, el valor más bajo corresponde a los cursos de grandes datos y analítica en Chile. En los cuadros relativos a cada país incluidos en el anexo IV.A1 se puede apreciar que existen 19 programas formales de formación en tecnologías digitales avanzadas en la Argentina, 96 en el Brasil, 12 en Chile, 12 en Colombia, 48 en México, 4 en el Perú y 3 en el Uruguay.

Cuadro IV.4

América Latina (7 países): índice de cursos de tecnologías digitales avanzadas y matrícula universitaria (En índice y número de matriculados)

País	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Total	Matrícula universitaria
Argentina	113,55	125,14	116,45	355,14	1 726 099
Brasil	128,22	151,33	110,70	390,25	8 048 701
Chile	253,88	116,47	109,93	480,28	764 133
Colombia	322,10	151,92	130,01	604,02	1 369 149
México	298,11	310,27	211,66	820,04	3 042 546
Perú	218,03	132,25	119,14	469,42	839 328
Uruguay	274,93	221,47	274,93	771,34	130 941
Total	187,74	176,81	134,04	498,59	15 920 897

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Si bien las cifras obtenidas evidencian un número importante de profesores de disciplinas relacionadas con las tecnologías digitales (al menos 32.337, excluido México), el escaso número de instituciones que divulgán ese dato impide presentar una visión completa de esta estadística. En particular, los datos sobre México son muy insuficientes (véase el cuadro IV.5).

Cuadro IV.5

América Latina (7 países): profesores en programas de tecnologías digitales

País	Número de profesores
Argentina	3 999
Brasil	21 983
Chile	1 107
Colombia	2 059
México	s.d.
Perú	1 625
Uruguay	1 564
Total	32 337

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

Nota: Los datos disponibles sobre México no bastan para realizar una estimación adecuada.

Por último, la oferta de capacitación de posgrado (especialmente doctorados) en tecnologías digitales es relativamente limitada, lo que podría tener un efecto negativo en la intensidad de la investigación básica y aplicada de alto nivel en los países estudiados (véase el cuadro IV.6).

Cuadro IV.6

América Latina (7 países): programas de posgrado en tecnologías digitales

(En número de programas y por millón de habitantes)

País	Maestrías		Doctorados		Total	
	Nominal	Por millón de habitantes	Nominal	Por millón de habitantes	Nominal	Por millón de habitantes
Argentina	37	0,84	35	0,80	72	1,64
Brasil	152	0,73	72	0,35	224	1,08
Chile	36	2,01	10	0,56	46	2,57
Colombia	68	1,40	13	0,27	81	1,66
México	187	1,47	67	0,53	254	1,99
Perú	49	1,54	14	0,44	63	1,98
Uruguay	11	3,19	3	0,87	14	4,07
Total	540	1,12	214	0,45	753	1,57

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

En los siete países se identificaron 214 programas de doctorado en tecnologías digitales. El mayor número de programas de doctorado por millón de habitantes corresponde al Uruguay (0,87), seguido por la Argentina (0,80). Asimismo, es importante considerar el número de programas de posgrado ofrecidos por las 20 universidades mejor posicionadas en la clasificación de cada país (véase el cuadro IV.7). En este universo, el número de doctorados disminuye a 130 y el de maestrías a 223.

Con arreglo a la información presentada, se puede concluir que la oferta de formación en tecnologías digitales es adecuada en términos generales, pero presenta déficits en algunos países y algunas áreas. Por ejemplo, la Argentina tiene insuficientes carreras en tecnologías digitales; el Perú y México presentan déficits en carreras cortas; los cursos y programas formales en tecnologías digitales avanzadas son escasos en todos los países, excepto el Brasil y México, y el Brasil y Colombia presentan un déficit en términos de programas de doctorado.

Cuadro IV.7

América Latina (7 países): programas de posgrado en tecnologías digitales en las 20 universidades mejor posicionadas en la clasificación de cada país

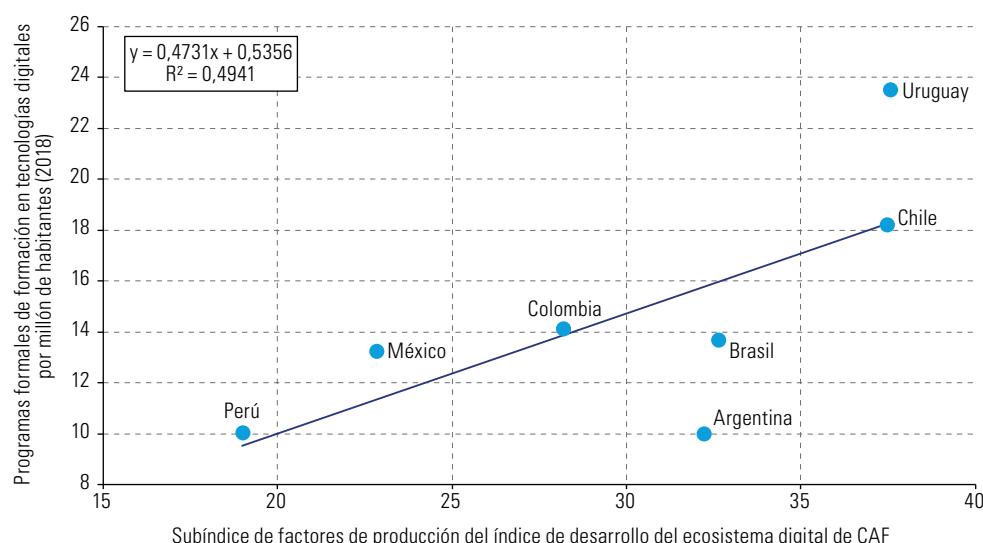
País	Maestrías	Doctorados	Total
Argentina	22	24	46
Brasil	55	43	98
Chile	30	10	40
Colombia	42	13	55
México	43	29	72
Perú	20	8	28
Uruguay	11	3	14
Total	223	130	353

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

La oferta de programas formales de formación en tecnologías digitales por millón de habitantes se puede relacionar con el pilar o subíndice de factores de producción (que incluye el capital humano) del índice de desarrollo del ecosistema digital de cada país. En el gráfico IV.7 se muestra que existe una correlación positiva entre esos programas y el subíndice. Destaca el Uruguay con un número de programas formales de formación en tecnologías digitales mucho mayor de lo esperado. Mientras México presenta un desarrollo levemente superior a lo esperado, el Perú, Colombia y Chile cuentan con programas formales de formación en tecnologías digitales acordes con sus factores de producción. Por último, el Brasil y sobre todo la Argentina tienen un rezago importante en el desarrollo de estos programas. Esta perspectiva comparada se contrapone en algunos casos a los números absolutos presentados para cada país.

Gráfico IV.7

América Latina (7 países): correlación entre los programas formales de formación en tecnologías digitales por millón de habitantes y el subíndice de factores de producción del índice de desarrollo del ecosistema digital del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)



Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF), Observatorio del Ecosistema Digital en América Latina y el Caribe 2017 [en línea] https://www.caf.com/app_tic/.

En lo que se refiere a la demanda de programas de formación en tecnologías digitales, el análisis de la matrícula universitaria en años recientes en cuatro de los siete países estudiados permite entender hasta qué punto la barrera más importante en la formación de capital humano digital corresponde al lado de la oferta o de la demanda⁵:

- En la Argentina, los porcentajes de nuevos inscriptos y graduados en carreras relacionadas con la transformación digital disminuyen año a año. Esto podría explicarse porque la dificultad de estas carreras lleva a la deserción o a un cambio de carrera, de manera que no solo es necesario fomentar la inscripción de los jóvenes en esas carreras asociadas, sino también su graduación. El análisis de las carreras de ingeniería entre 2003 y 2013 revela un leve aumento en números absolutos, coherente con el crecimiento de la población, pero una disminución constante en relación con el número de estudiantes, nuevos inscriptos o egresados. Esto confirma la existencia de un déficit por el lado de la demanda de capital humano.
- El número de estudiantes matriculados en carreras de tecnología en Chile se duplicó entre 2005 y 2016. Esto permite inferir que la situación desventajosa por el lado de la demanda registrada hasta 2015 en términos del porcentaje de graduados en ingeniería y ciencias reflejaba una tendencia de arrastre negativo que puede invertirse en el futuro cercano.
- Un cambio análogo se registra en Colombia, donde el número de graduados en ingeniería y ciencias creció a una tasa anual del 8,25%, al pasar de 37.949 en 2004 a 105.506 en 2016.
- En el Uruguay, el aumento del porcentaje de inscriptos y graduados universitarios en carreras relacionadas con la transformación digital podría indicar una situación similar a la registrada en Chile y Colombia.

D. Implicaciones de política pública

El análisis realizado en este capítulo permite determinar que, con ciertas salvedades, la oferta de formación de capital humano en la región, especialmente a nivel de carreras cortas y títulos de grado, es adecuada en números absolutos, pero se observa un déficit de carreras de posgrado, especialmente doctorados. El número de programas formales relacionados con las tecnologías avanzadas es pequeño. Por el lado de la demanda, si bien la evidencia indica un déficit en el número de estudiantes y sobre todo de graduados en las disciplinas asociadas con la digitalización, en los casos chileno, colombiano y uruguayo esa tendencia se está invirtiendo. En este sentido, se puede concluir que en algunos países de la región la demanda de formación en tecnologías digitales maduras es insuficiente (en otras palabras, existe una oferta adecuada de programas), combinada con una oferta limitada de carreras de grado en tecnologías avanzadas y programas de posgrado en tecnologías digitales en general. Estas conclusiones sientan las bases de las recomendaciones de política pública.

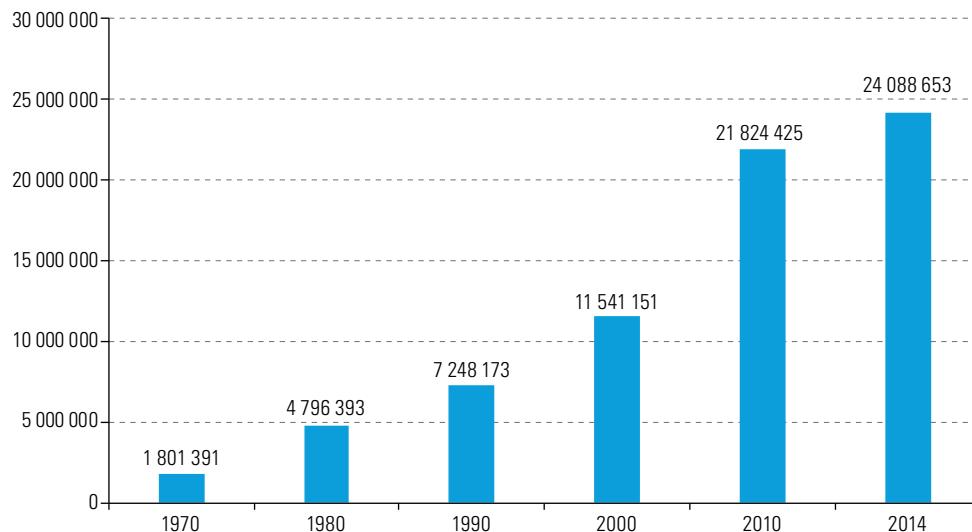
1. Promoción de la demanda

En la región se registra un gran avance en materia de matriculación. En 1970, 2 millones de jóvenes en edad universitaria se encontraban matriculados en la educación superior. Esa cifra ascendió a 11,5 millones en 2000 y a 22 millones en 2008, equivalente al 13,8% de la matrícula terciaria a nivel mundial, por encima del peso poblacional de la región en el mundo (CINDA, 2011). En 2014 la matrícula superó los 24,1 millones (véase el gráfico IV.8).

⁵ Véanse los cuadros de matrícula por país en el anexo IV.A1.

Gráfico IV.8

América Latina: evolución de la matrícula de educación superior, 1970-2014
(En número de matriculados)



Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Centro Interuniversitario de Desarrollo (CINDA), *Educación Superior en Iberoamérica. Informe 2011*, J. Brunner y R. Ferrada (eds.), Santiago, 2011; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), *Compendio Mundial de la Educación 2009: comparación de las estadísticas de educación en el mundo*, Montreal, 2009; *Compendio Mundial de la Educación 2010: comparación de las estadísticas de educación en el mundo*, Montreal, 2010; Instituto de Estadística de la UNESCO (IEU), 2016 [en línea] <http://uis.unesco.org/>.

El aumento de la matrícula no supone un incremento proporcional del número de graduados, que es bastante inferior⁶. En total, en América Latina se contabilizaban cerca de 36.000 graduados en carreras de ingeniería y tecnología en 2013. Algunos países se encontraban mejor posicionados con respecto al porcentaje de titulación de grado en carreras de ingeniería y tecnológicas. Mientras que en el Brasil y la Argentina representaba cerca del 9% de los graduados, en Chile llegaba al 16%, en Colombia al 22% y en México al 24% (RICYT, 2015).

El desarrollo del ecosistema digital requiere un mayor número de graduados en estas disciplinas. Para ello, es necesario mejorar el aprendizaje a nivel medio para proveer una base adecuada para esas carreras. Es prioritario reducir las asimetrías de información para que los aspirantes universitarios, en condiciones preexistentes de acceso, opten por las carreras técnicas. Se debe fomentar la difusión de información relevante en materia de salarios y empleabilidad esperados en estas áreas. En este sentido, las asociaciones y cámaras empresariales pueden cumplir un papel importante para señalar, mediante campañas de información, las ventajas económicas asociadas con estas carreras.

Asimismo, el aumento de la matrícula en los estudios terciarios de tecnologías digitales debe promoverse desde los niveles primario y secundario. Las ciencias de la computación se deben incorporar de manera orgánica en los sistemas educativos por razones de índole organizativa, pedagógica y de innovación. Las ventajas organizativas se deben a que la computación es un insumo para implementar procesos de mejora en la administración de la educación. Esta disciplina podría, a su vez, beneficiarse de una masa crítica de alumnos y docentes que aprendan y enseñen sus métodos para mejorar la educación u otras instancias de políticas públicas. Las mejoras en términos pedagógicos obedecen a que la computación estimula la creatividad, el pensamiento crítico y el pensamiento lógico, habilitando conocimientos que pueden aplicarse transversalmente a problemas sociales y científicos. La innovación radica en que su aporte incide positivamente en la capacidad para comprender y transformar la realidad, dado que cada vez más cuestiones sociales, políticas y económicas se dirimen en los campos de la información digital.

⁶ Con respecto a los títulos por disciplina, en 2013 las ciencias sociales ocupaban el primer lugar en América Latina, pues representaban el 54% del total. Les seguían la ingeniería y las carreras de tecnología con un 14% y las ciencias médicas con un 15%. Las disciplinas humanísticas representaban el 7% y las ciencias naturales el 6% (RICYT, 2015).

En este sentido, las tecnologías digitales deben ser un instrumento más en pro de la educación de calidad, en la medida en que permiten abordar problemas complejos con soluciones específicas y proveen competencias de adaptabilidad y flexibilidad que complementan las habilidades sociales y emocionales que los sistemas de educación pública aspiran a difundir. Además, son una herramienta cada vez más necesaria para agregar valor a las industrias manufactureras y de servicios y las cadenas de producción.

Las ciencias de la computación deben incorporarse con una estrategia transversal y un alto grado de flexibilidad para no determinar tecnológicamente a los alumnos, sino prepararlos para las disruptivas que ellos mismos pueden crear o deben administrar. Se trata de dar a las ciencias de la computación el mismo peso que a las materias científicas tradicionales, como química, física y biología (Nager y Atkinson, 2016). Más allá de las iniciativas impulsadas por el entusiasmo tecnológico, la sostenibilidad del cambio requiere la transformación de los programas. En este sentido, las ciencias de la computación deben ser prioritarias en la agenda de los encargados de formular las políticas educativas. Ello depende del apoyo de una coalición. En este punto, los profesionales del tema, los docentes y el sector privado desempeñan un papel muy importante y deben hacerse oír para que la sociedad interprete y demande el desarrollo de tecnologías digitales como base formativa de los alumnos.

2. Fomento de la oferta de programas

En gran parte de los países de la región, la educación superior es un sistema fragmentado y diversificado en el que los modelos de educación privada prevalecen sobre los públicos. Proliferan instituciones que ofrecen programas de formación superior de forma descoordinada, sin responder a una matriz de desarrollo educativo uniforme orientada a aumentar la dotación de capital humano.

La educación superior se caracteriza por la oferta de un primer título académico luego de cinco o más años, mientras que en España y Portugal esta dura entre tres y cuatro años, luego de las modificaciones introducidas por el Proceso de Bolonia (CINDA, 2011)⁷. Entre otros aspectos, este proceso favoreció la estandarización de los planes de estudio sobre la base de la unidad de medida académica denominada crédito, mediante dos alternativas: grados de 240 créditos (cuatro años) o 180 créditos (tres años). De esta manera, los alumnos culminan carreras de menor duración orientadas al mercado laboral.

En América Latina se siguió de cerca esta experiencia y se promovieron iniciativas de coordinación como el proyecto Tuning América Latina de la Unión Europea. Sin embargo, la integración regional en materia de estandarización sigue siendo incipiente. A fin de avanzar en un proceso similar, las máximas autoridades políticas y académicas deberían liderar el debate y promover la integración y la reforma de los planes de estudio superior⁸.

En este sentido, las políticas deben apuntar a crear sistemas de educación superior que puedan absorber los rápidos cambios en las disciplinas, mantener su orientación a la producción de conocimiento y promover el desarrollo socioeconómico, sin caer en el determinismo tecnológico. Para ello, es necesario implementar programas flexibles, que permitan la adaptación de formatos y contenidos, y generar demanda para la actualización continua del conocimiento. Mediante la reforma de los programas se deben integrar los conocimientos básicos que estimulan la creatividad, el pensamiento crítico y lógico y brindan competencias para el trabajo en equipo con el aprendizaje y uso de herramientas tecnológicas durante los primeros años de la educación superior. Asimismo, se debe promover la especialización en módulos subsiguientes de dos a tres años. Las ciencias de la computación son un aliado de esta reforma pues cumplen con el sentido pedagógico y productivo de la enseñanza y permiten a los alumnos crear modelos, formular hipótesis y ponerlas a prueba con un alto sentido teórico y práctico.

⁷ La Declaración de Bolonia de 1999 es un acuerdo voluntario suscrito por 30 naciones, que sentó las bases para la construcción de un Espacio Europeo de Educación Superior, organizado conforme a los principios de calidad, movilidad, diversidad y competitividad y orientado el incremento del empleo en la Unión Europea y la conversión del Sistema Europeo de Formación Superior en un polo de atracción para estudiantes y profesores de otras partes del mundo (Garay Sánchez, 2008).

⁸ La creación del Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) en México constituye un ejemplo interesante de gobernabilidad educativa. Esta entidad facilitó la administración del conflicto de intereses en el campo de la educación y permitió superar la oposición sindical, al incorporar el aporte de la sociedad civil y los especialistas en un momento de gran expectativa y demanda de cambio por parte de la sociedad.

Las ventajas de reorganizar los programas son muchas, incluida la capacidad de motivar a los estudiantes con reflexiones generales y prepararlos para los cambios vertiginosos en la generación y aplicación de conocimientos y en su necesaria reconversión y actualización. Por otra parte, el aumento de la eficiencia del gasto en educación evitaría la constante reconversión de los programas en función de los cambios en las tecnologías dominantes.

En la planificación de las políticas de educación superior es fundamental establecer instancias de diálogo entre los distintos actores del sistema para mejorar la coordinación y, de esa manera, incrementar la eficiencia de la inversión en educación y establecer sistemas de colaboración más fluidos entre el mundo laboral y el académico.

También es necesario incrementar la cooperación horizontal entre las instituciones de educación superior públicas y privadas, más allá de los contenidos curriculares. Las instancias de cooperación deben institucionalizarse más allá de los acuerdos formales existentes, incluso mediante la creación de consejos que abarquen más de una jurisdicción. Asimismo, se deberían crear nuevas instituciones de formulación de políticas educativas multisectoriales capaces de afrontar los retos de la formación de nivel primario, secundario, y terciario y de proveer la gobernabilidad de los sistemas educativos, legitimando un sistema de autoridad que trascienda los ciclos políticos electorales. Todo esto permitiría avanzar hacia los objetivos de sostenibilidad de las políticas y creación de instancias de representatividad territorial y sectorial.

Bibliografía

- CINDA (Centro Interuniversitario de Desarrollo) (2011), *Educación Superior en Iberoamérica. Informe 2011*, J. Brunner y R. Ferrada (eds.), Santiago, octubre.
- Garay Sánchez, A. (2008), "Los Acuerdos de Bolonia; desafíos y respuestas por parte de los sistemas de educación superior e instituciones en Latinoamérica", *Universidades*, Nº 37, Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana, abril-junio.
- Katz, R. (2018) "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.
- (2017a), "Social and economic impact of digital transformation on the economy", *GSR-17 Discussion Paper*, Ginebra, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [en línea] https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/GSR2017/Soc_Eco_impact_Digital_transformation_finalGSR.pdf.
- (2017b), "Digitalización e industrialización inclusiva y sostenible en América Latina", documento presentado en la Cuarta Escuela de Verano "Transformación e Innovación Digital en América Latina", Barcelona, 12 de junio [en línea] <http://docplayer.es/63174982-Digitalizacion-e-industrializacion-inclusiva-y-sostenible-en-america-latina.html>.
- (2015), *El ecosistema y la economía digital en América Latina*, Madrid, Fundación Telefónica/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Editorial Ariel, agosto.
- Katz, R. y F. Callorda (2017), "Accelerating the development of Latin American digital ecosystem and implications for broadband policy", *Telecommunications Policy*, Amsterdam, Elsevier, diciembre.
- Katz, R., F. Callorda y M. Lef (2016), *Iniciativas empresariales y políticas públicas para acelerar el desarrollo de un ecosistema digital iberoamericano*, Madrid, Consejo Iberoamericano para la Productividad y la Competitividad (CIPC)/Fundación Cotec para la Innovación, septiembre.
- Katz, R. y P. Koutroumpis (2013), "Measuring digitization: growth and welfare multiplier", *Technovation*, vol. 33, Nº 10-11, Amsterdam, Elsevier, octubre-noviembre.
- Nager, R. y R. Atkinson (2016), "The case for improving U.S. computer science education", Washington, D.C., Fundación para la Tecnología de la Información e Innovación (ITIF), mayo [en línea] <http://www2.itif.org/2016-computer-science-education.pdf>.
- RICYT (Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología) (2015), *El Estado de la Ciencia: Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos 2015*, Buenos Aires.
- Telecom Advisory Services (2017), *Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: el Observatorio CAF del Ecosistema Digital*, Caracas, Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), junio.
- Williamson, O. (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, Nueva York, The Free Press.

Anexo IV.A1

Análisis por país

Argentina

En la Argentina hay 124 instituciones de formación postsecundaria, que incluyen universidades, institutos universitarios e institutos terciarios no universitarios⁹. En 82 de estas se ofrecen programas de formación en computación, ingeniería eléctrica y electrónica, sistemas de información o similares. Algunas instituciones ofrecen más de un programa. Por ejemplo, la Universidad de Buenos Aires ofrece 15 programas en esas disciplinas, mientras que la Universidad Nacional de La Plata ofrece 16 (véase el cuadro IV.A1.1).

Cuadro IV.A1.1

Argentina: ejemplos de programas ofrecidos en dos universidades

Clasificación	Universidad	Programas
1	Universidad de Buenos Aires	Ingeniería Electricista Ingeniería Electrónica Ingeniería en Informática Ingeniería Industrial Ingeniería Mecánica Ingeniería Naval y Mecánica Licenciatura en Análisis de Sistemas Especialización en Automatización Industrial Especialización en Explotación de Datos y Descubrimiento del Conocimiento Especialización en Servicios y Redes de Telecomunicaciones Especialización en Sistemas Embebidos Maestría en Automatización Industrial Maestría en Explotación de Datos y Descubrimiento del Conocimiento Maestría en Ingeniería en Telecomunicaciones Maestría en Sistemas Embebidos
2	Universidad Nacional de la Plata	Licenciatura en Informática Licenciatura en Sistemas Ingeniería en Computación Analista Programador Universitario Analista en TIC Doctorado en Ciencias Informáticas Ingeniería Electricista Ingeniería Electromecánica Ingeniería Electrónica Ingeniería Industrial Ingeniería Mecánica Especialización en Computación Gráfica, Imágenes y Visión por Computadora Especialización en Ingeniería de Software Maestría en Ingeniería Maestría en Ingeniería de Software Maestría en Redes de Datos

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de información oficial.

⁹ Véase "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es>. Si bien la fuente oficial consigna 2.239 instituciones, un número importante de estas corresponde a organismos privados, apadrinados por empresas que proporcionan formación específica con el propósito de reclutar estudiantes para insertarlos en el mercado laboral. Esto significa que, en muchos casos, se podría tratar de títulos inferiores incluso al rango de tecnicaturas y, por ende, de meros cursos de formación.

Las 82 instituciones identificadas ofrecen un total de 443 programas¹⁰ en sistemas de información y control de gestión, computación, ingeniería eléctrica y electrónica o telecomunicaciones¹¹. Es importante mencionar que los títulos de grado, como las licenciaturas o el diploma de ingeniero, tienen una programación igual o mayor a cuatro años —los de ingeniería son los de mayor duración (cinco años o más)—, mientras que las tecnicaturas y los títulos de tecnólogos prevén una duración de entre dos y tres años. Las maestrías, los doctorados y las especializaciones también duran entre dos y tres años, aunque en algunos casos pueden requerir cuatro años. Por último, existen cursos básicos de duración inferior a los dos años, como los cursos intensivos de entre cinco y ocho meses.

De esos 443 programas de nivel terciario, 402 incluyen cursos en robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica, que suman 613. Entre los programas que no incluyen este tipo de cursos, se encuentran algunos de doctorado y maestría que prevén planes de estudio personalizables, es decir, que se definen sobre la base de la temática elegida por el estudiante, por lo que no se puede clasificarlos con anticipación.

Para resumir, en el cuadro IV.A1.2 se presentan el número de cursos o asignaturas relacionadas con las tecnologías digitales de avanzada y el número de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

Cuadro IV.A1.2

Argentina: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de cursos			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado, diplomatura y tecnicatura
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	95	72	68	24	22	147
Otras universidades	101	144	133	11	15	224
Total	196	216	201	35	37	371
Total por millón de habitantes	4,47	4,93	4,58	0,80	0,84	8,46

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de información oficial.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

De los 371 títulos de grado, diplomaturas, tecnicaturas, profesorados y cursos, solo 225 corresponden a títulos de grado, 26 a diplomaturas y especializaciones y el resto a las otras opciones de titulación mencionadas que integran ese grupo de clasificación y poseen un rango menor. La oferta de capacitación de posgrado (doctorados o maestrías) en tecnologías digitales es relativamente limitada. Esto podría tener un efecto negativo en la intensidad de la investigación básica y aplicada de alto nivel en la Argentina (por ejemplo, desarrollo de herramientas sofisticadas o sistemas operativos) y en la capacidad del sistema educativo para formar nuevos profesores. A su vez, es importante tener en cuenta que este tipo de formación está muy concentrado (64%) en las 20 universidades de mayor nivel del país.

En términos del énfasis en la oferta de cursos en tecnologías digitales de avanzada, si bien existe paridad entre los tres tipos de formación considerados en el presente capítulo, se observa una leve diferencia a favor de la formación en inteligencia artificial, seguida por grandes datos y, por último, por los programas en robótica y control.

En general, al igual que en el caso de los otros países de la muestra, la oferta de capacitación en tecnologías avanzadas se concentra en cursos aislados dictados en el marco de programas genéricos de ingeniería eléctrica o electrónica, telecomunicaciones o vinculados con el análisis de sistemas. La oferta de programas enfocados en algunas de las tres tecnologías avanzadas se limita a unas pocas universidades, en

¹⁰ Es importante considerar que las universidades que tienen programas de licenciatura o ingeniería ofrecen en muchas oportunidades la posibilidad de graduarse con un título intermedio de igual orientación que el de grado, pero con un nivel de certificación intermedio (como la tecnicatura).

¹¹ Varias de las universidades que se incluyen en este análisis tienen diversas sedes en la Argentina, pues muchas de ellas son de carácter regional. Esto significa que un mismo programa puede dictarse en varias sedes de la misma institución.

las que se destacan los títulos específicos en grandes datos y, en menor medida, en robótica y automatización. En total, existen 19 programas que ofrecen un título en algunas de las tres tecnologías avanzadas. Por otra parte, la oferta de programas en tecnologías avanzadas es superior en número absoluto de titulaciones de doctorados y maestrías en las 20 universidades mejor ubicadas en la clasificación, mientras que en el resto de las categorías de titulación predominan las otras instituciones.

Además del número de programas y títulos, se contabilizó el número de profesores en algunas de las universidades o centros no universitarios. Cuando no se especificaba el número de profesores por programa, se tomó la cantidad general de docentes de la facultad de ingeniería, ciencias exactas, informática o aquella en la que se dictaban los programas y se calculó el promedio que le correspondería a las carreras contempladas. Al considerar solo algunos de los 371 programas sobre los que se obtuvo la información necesaria para realizar el estudio, se contabilizaron 3.999 profesores. Al respecto se debe tener en cuenta que, en algunos casos, se tomó el promedio de docentes de la totalidad del departamento en el que se dictan las carreras consideradas.

En lo que respecta a la demanda de cursos, al agregar las carreras que podrían asimilarse al desarrollo de la digitalización, el número de estudiantes registrados como porcentaje de la población total de estudiantes asciende al 35,8% en las carreras cortas de pregrado y al 36,76% de los títulos de grado (véase el cuadro IV.A1.3).

Cuadro IV.A1.3

Argentina: estudiantes, nuevos inscriptos y egresados de títulos de pregrado y grado por disciplina, 2013
(En número de estudiantes y porcentajes)

	Títulos de pregrado			Títulos de grado		
	Estudiantes	Nuevos inscriptos	Egresados	Estudiantes	Nuevos inscriptos	Egresados
Estadística	630	89	17	0	0	0
Industrias	50 809	12 687	3 180	15 013	4 947	1 274
Informática	64 695	14 458	2 624	13 284	2 924	1 026
Ingeniería	100 892	21 356	4 303	4 349	893	301
Matemática	9 528	2 435	332	347	90	16
Ciencias de la información y la comunicación	50 960	10 193	2 264	11 986	3 220	1 253
Economía y administración	237 138	47 682	12 223	99 529	29 336	9 541
Subtotal	514 652	108 900	24 943	144 508	41 410	13 411
Total	1 437 611	315 593	80 343	393 132	110 057	37 376
Subtotal/Total	35,80%	34,51%	31,05%	36,76%	37,63%	35,88%

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Ministerio de Educación de la Argentina, *Anuario 2013: Estadísticas Universitarias Argentinas*, Buenos Aires, 2013.

Sin embargo, las estadísticas indican que el porcentaje disminuye tanto con respecto al número de nuevos inscriptos como respecto del número de egresados. Esto podría explicarse porque la dificultad de estas carreras lleva a la deserción o a un cambio de carrera, de manera que no solo es necesario fomentar la inscripción de los jóvenes en las carreras asociadas a la digitalización sino también su graduación.

El análisis específico de las carreras de ingeniería entre 2003 y 2013 revela un leve aumento en números absolutos, coherente con el crecimiento de la población, pero una disminución constante en términos relativos del número de estudiantes, nuevos inscriptos y egresados (véase el cuadro IV.A1.4).

Así, desde el punto de vista de la demanda de formación terciaria en disciplinas relacionadas con la digitalización en la Argentina, se observan una reducción importante en el número de inscriptos y una disminución del porcentaje de ingenieros con respecto a la población universitaria total. Al examinar la situación desde el punto de vista de la oferta y la demanda, se puede concluir que las políticas públicas deben hacer hincapié en los estímulos a la elección de carreras vinculadas con la digitalización por parte de los jóvenes y en su graduación.

Cuadro IV.A1.4

Argentina: estudiantes, nuevos inscriptos y egresados de títulos de ingeniería en instituciones de gestión estatal, 2003, 2009 y 2013

(En número de estudiantes y porcentajes)

	2003			2009			2013		
	Estudiantes	Nuevos inscriptos	Egresados	Estudiantes	Nuevos inscriptos	Egresados	Estudiantes	Nuevos inscriptos	Egresados
Computación	1 093	386	7	1 454	492	25	2 276	737	49
Eléctrica	4 860	1 192	179	4 485	960	132	4 952	840	162
Electromecánica	5 045	1 243	129	5 862	1 266	190	7 372	1 502	267
Electrónica	18 038	3 793	590	16 632	2 874	664	16 181	2 715	557
Informática y sistemas	35 742	8 723	994	32 627	6 844	1 040	29 630	4 887	852
Telecomunicaciones	1 166	219	10	832	104	83	671	94	52
Subtotal	65 944	15 556	1 909	61 892	12 540	2 134	61 082	10 775	1 939
Total	124 455	29 009	4 120	138 576	30 079	4 924	151 885	29 969	5 050
Subtotal/Total	52,99%	53,62%	46,33%	44,66%	41,69%	43,34%	40,22%	35,95%	38,40%

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Ministerio de Educación de la Argentina, *Anuario 2013: Estadísticas Universitarias Argentinas*, Buenos Aires, 2013.

Brasil

En el Brasil hay 1.434 instituciones de formación postsecundaria, que incluyen universidades, institutos universitarios e institutos terciarios no universitarios¹². En 678 de estas (47,28%) se ofrecen programas de formación en computación, ingeniería eléctrica y electrónica, sistemas de información o similares.

Estas instituciones ofrecen un total de 2.851 programas en sistemas de información y control de gestión, computación, ingeniería eléctrica y electrónica o telecomunicaciones. En este sentido, como se menciona en el caso argentino, es importante considerar que los títulos de grado, como las licenciaturas y los diplomas de ingeniero, tienen una duración de cuatro años o mayor, mientras que las tecnicaturas y los títulos de tecnólogos poseen una duración de entre dos y tres años. Las maestrías, los doctorados y las especializaciones también tienen un tiempo de curso de entre dos y tres años, aunque en algunos casos pueden requerir cuatro.

En los 2.851 programas de nivel terciario se ofrecen 3.141 cursos de robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica. Al igual que en el caso argentino, existen muchos programas de doctorado y maestría con planes de trabajo personalizables, en los que el currículo se formula sobre la base de la temática elegida por el estudiante, por lo que no se pueden clasificar con anticipación.

En el cuadro IV.A1.5 se presentan el número de materias, cursos y asignaturas relacionadas con las tecnologías digitales de avanzada y el número de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

La oferta de capacitación de posgrado (doctorados o maestrías) en tecnologías digitales es relativamente limitada para un país de la dimensión del Brasil, en comparación con la cantidad de programas de los diversos niveles de titulación que se ofrecen. Esta limitación podría tener un efecto negativo en la intensidad de la investigación básica y aplicada de alto nivel en el país, así como en la capacidad del sistema educativo para formar nuevos profesores. A su vez, es importante tener en cuenta que este tipo de formación está muy concentrado en las primeras 20 universidades de la clasificación. El número de programas de doctorado en estas universidades (43) es marcadamente superior a la suma de los programas ofrecidos por las otras 658 universidades.

¹² Véase "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es>. En la estadística oficial del Censo de Educación Superior se mencionan 2.111 instituciones. Sin embargo, como en el caso argentino, un número importante de estas corresponde a organismos privados, apadrinados por empresas interesadas en una formación específica con el propósito de formar rápidamente a los estudiantes para insertarlos en el mercado laboral. Esto significa que, en muchos casos, se podría tratar de títulos inferiores incluso al rango de tecnicaturas y, por ende, de meros cursos de formación.

Cuadro IV.A1.5

Brasil: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de cursos			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado, diplomatura y tecnicatura
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	95	96	70	43	55	159
Otras universidades	937	1 122	821	29	97	2 468
Total	1 032	1 218	891	72	152	2 627
Total por millón de habitantes	4,97	5,87	4,29	0,35	0,73	12,65

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

La mayor cantidad de cursos relacionados con las tecnologías digitales de avanzada se concentra en inteligencia artificial y aprendizaje de máquina (1.218), seguidas por robótica y control (1.032) y grandes datos y analítica (891). Por otra parte, es importante considerar que, de los 2.627 títulos de grado, tecnicaturas y especializaciones, 1.764 corresponden a títulos de grado, 152 a especializaciones y el resto a las tecnicaturas que integran ese grupo de clasificación.

En general, al igual que en el caso de los otros países estudiados en este capítulo, la oferta de capacitación en tecnologías avanzadas se concentra en cursos aislados ofrecidos en el marco de programas genéricos de ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones o vinculados con el análisis de sistemas. La oferta de programas enfocados exclusivamente en algunas de las tecnologías avanzadas se limita a unas pocas universidades, que ofrecen 96 programas.

Se contabilizó el número de profesores en algunas de las universidades o centros no universitarios analizados. Como se explicó en el caso de la Argentina, al no disponer de la cantidad de profesores por programa, en varias ocasiones se tomó la cantidad general de docentes de las facultades de ingeniería, ciencias exactas, informática o aquellas en las cuales se dictan los planes y se calculó el promedio que correspondería a las carreras contempladas. Al considerar solo algunos de los 2.851 programas para los que se obtuvo la información necesaria, se contabilizaron 21.983 profesores¹³.

Chile

En Chile hay 147 universidades¹⁴. En 76 de estas se ofrecen programas de formación en computación, ingeniería eléctrica o sistemas de información. Estas universidades ofrecen 325 programas en sistemas de información y control de gestión, computación, ingeniería electrónica o telecomunicaciones, que incluyen 367 cursos de robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica.

En el cuadro IV.A1.6 se presentan el número de programas o cursos relacionados con las tecnologías digitales de avanzada y la cantidad de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

La oferta de capacitación de posgrado (doctorados o maestrías) en tecnologías digitales es relativamente limitada. Esto podría tener un efecto negativo en la intensidad de la investigación básica y aplicada de alto nivel en el país, así como en la capacidad del sistema educativo para formar nuevos profesores.

¹³ Como se observa en la comparación con otros países, la diferencia significativa entre el Brasil y el resto de las naciones se debe principalmente a que las universidades brasileñas tienden a divulgar más datos sobre el número de profesores.

¹⁴ Véase "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es>. En la estadística oficial se mencionan 152 instituciones.

Cuadro IV.A1.6

Chile: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de programas o cursos en tecnologías digitales avanzadas			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado, tecnicatura, diplomatura y especialización
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	83	31	29	10	30	103
Otras universidades	111	58	55	0	6	176
Total	194	89	84	10	36	279
Total por millón de habitantes	10,83	4,97	4,69	0,56	2,01	15,58

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

La formación de tecnologías digitales avanzadas se concentra en robótica y control¹⁵. En general, la oferta está concentrada en cursos aislados dictados en el marco de programas genéricos de ingeniería eléctrica o análisis de sistemas. La oferta de programas enfocados en algunas de las tecnologías avanzadas se limita a unas pocas universidades (por ejemplo, el diploma en Sistemas Autónomos y Robóticos de la Pontificia Universidad Católica de Chile o el Departamento de Ingeniería en Automatización y Robótica de la Universidad Andrés Bello). En general, la oferta de programas en tecnologías avanzadas se concentra en las 20 universidades mejor posicionadas en la clasificación chilena (10 de las cuales son privadas), a las que corresponden más del 50% de la oferta de cursos, todos los programas de doctorado y la mayor parte de la oferta de maestrías en las disciplinas consideradas.

Además del número de programas, se contabilizó el número de profesores dedicados a la enseñanza de tecnologías digitales en algunas de las universidades analizadas. Al considerar algunos de los 76 departamentos, se contabilizaron 1.107 profesores.

La oferta de programas y cursos terciarios en tecnologías digitales es abundante, quizás con la excepción de los programas de posgrado, especialmente doctorados. Esto indicaría que la oferta de formación no es un cuello de botella importante. En este contexto, corresponde investigar la situación desde el punto de vista de la demanda. ¿Existe una orientación suficiente de los estudiantes universitarios con respecto a las carreras relacionadas con la digitalización? El análisis de la matrícula universitaria hasta 2016 indica un aumento sostenido del número de estudiantes en las carreras tecnológicas (véase el cuadro IV.A1.7).

¹⁵ La formación en inteligencia artificial y grandes datos se limita a unos pocos cursos pues Chile carece de programas de formación bajo títulos de tecnologías digitales avanzadas (por ejemplo, licenciatura o maestría en aprendizaje automático).

Cuadro IV.A1.7

Chile: estudiantes universitarios por disciplina, 2005-2016

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Alumnos matriculados	637 434	668 853	713 701	755 177	816 578	904 109	989 394	1 035 267	1 080 569	1 126 019	1 152 951	1 168 901
Administración y comercio	107 195	102 343	109 688	122 314	133 363	151 463	170 299	178 812	189 094	200 929	212 827	226 165
Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria	29 957	30 363	31 134	31 268	30 114	29 472	28 869	28 205	27 486	26 741	27 372	28 447
Arte y arquitectura	44 674	48 631	50 255	52 082	52 566	55 148	55 092	54 214	53 378	52 004	51 286	51 043
Ciencias	12 010	12 171	12 509	13 587	13 841	14 284	14 531	14 458	14 887	16 075	16 518	16 647
Ciencias sociales	59 472	61 691	61 804	62 528	65 411	70 548	75 211	77 552	79 734	83 585	85 342	88 902
Derecho	47 058	55 512	59 704	44 350	43 094	42 280	43 161	41 348	39 875	40 015	39 937	40 464
Educación	96 472	97 616	104 213	113 751	120 775	131 655	139 589	140 603	137 144	135 994	133 600	133 878
Humanidades	8 898	10 503	11 263	11 865	11 967	12 914	13 468	13 516	13 350	13 305	12 845	13 097
Salud	68 171	84 800	98 558	114 575	136 673	161 208	188 119	204 155	208 564	217 168	222 936	226 522
Tecnología	163 527	165 223	174 573	188 857	208 774	235 137	261 055	282 404	317 057	340 203	350 288	343 736
Tecnología (como porcentaje del total)	0,26	0,25	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,29	0,30	0,30	0,29

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Consejo Nacional de Educación (CNED), "Matrícula sistema de educación superior", Santiago [en línea] <https://www.cned.cl/indices/matricula-sistema-de-educacion-superior>.

El número de estudiantes matriculados en carreras de tecnología se duplicó entre 2005 y 2016. Esto permite inferir que la situación desventajosa registrada hasta 2015 en términos del porcentaje de graduados en ingeniería y ciencias (véase el cuadro IV.A1.8) reflejaba una tendencia de arrastre negativo que puede invertirse en el futuro cercano.

Cuadro IV.A1.8

Chile: graduados de nivel terciario en ingeniería y ciencias

Año	Total de graduados	Graduados en ingeniería y ciencias	Porcentaje del total de graduados	Graduados en ingeniería y ciencias por millón de habitantes
2004	67 185 ^a	16 289 ^a	24,24 ^a	1 018 ^a
2005	70 129 ^a	17 003 ^a	24,24 ^a	1 052 ^a
2006	73 203	17 748	24,24	1 087
2007	87 485	20 839	23,82	1 263
2008	92 230	20 521	22,25	1 230
2009	121 915	24 928	20,45	1 477
2010	120 464	24 164	20,02	1 416
2011	133 448 ^a	26 149 ^a	19,59 ^a	1 515 ^a
2012	147 549	28 297	19,18	1 622
2013	176 217 ^a	34 303 ^a	19,47 ^a	1 946 ^a
2014	191 141	37 767	19,76	2 119
2015	195 713 ^a	38 670 ^a	19,76 ^a	2 148 ^a
2016	198 420 ^a	39 205 ^a	19,76 ^a	2 155 ^a
2017	197 301 ^a	38 984 ^a	19,76 ^a	2 122 ^a
Tasa de crecimiento anual compuesta	8,64%	6,94%	-1,56%	5,81%

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y Consejo Nacional de Educación (CNED).

^a Valor estimado.

En resumen, el análisis de la oferta y la demanda de formación en carreras orientadas a la transformación digital en Chile revela una abundancia de títulos, programas y cursos en tecnologías digitales. La única brecha observada por el lado oferta se refiere a los títulos de posgrado, que afecta la capacidad de formación de investigadores. Por el lado de la demanda, se observa un progresivo aumento en la matrícula de estudiantes de nivel terciario en carreras relacionadas con la digitalización, con el cual comienza a cerrarse la brecha de capital humano.

Colombia

En Colombia hay 288 instituciones de estudio superior¹⁶. En 176 de estas se ofrecen programas de formación en informática, ingeniería eléctrica o sistemas de información. Estas universidades ofrecen un total de 689 programas en sistemas de información y control de gestión, computación, ingeniería electrónica o telecomunicaciones. En el marco de esos programas, se dictan 827 cursos de robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica.

En el cuadro IV.A1.9 se presentan el número de programas o cursos relacionados con las tecnologías digitales de avanzada y la cantidad de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

Cuadro IV.A1.9

Colombia: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de programas o cursos			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado, tecnicatura, diplomatura y especialización
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	90	30	29	13	42	106
Otras universidades	351	178	149	0	26	502
Total	441	208	178	13	68	608
Total por millón de habitantes	9,06	4,28	3,66	0,27	1,40	12,50

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

La oferta de doctorados en tecnologías digitales es relativamente limitada. Se identificaron solo 13 programas, ofrecidos por las mejores 20 universidades. Al mismo tiempo, al igual que en el caso chileno, se hace hincapié en la oferta de cursos y programas en robótica y control, mientras que aquellos sobre inteligencia artificial y grandes datos son minoritarios, con una baja proporción de programas y cursos en grandes datos y analítica. Las 20 universidades mejor posicionadas en la clasificación concentran más del 50% de la oferta de programas de doctorado y maestrías.

Al mismo tiempo, se contabilizó el número de profesores en algunas de las instituciones. Al considerar solo algunos de los 261 programas, se contabilizó un total de 2.059 profesores.

En Colombia se observa un cambio análogo al registrado en Chile en la tendencia con respecto a la producción universitaria de talento (véase el cuadro IV.A1.10).

¹⁶ Véase "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es>. En la estadística oficial se consignan 295 instituciones. La diferencia se debe a que algunas son organismos privados, apadrinados por empresas interesadas en una formación específica con el propósito de formar rápidamente a los estudiantes para insertarlos en el mercado laboral. Esto significa que, en muchos casos, se podría tratar de títulos inferiores incluso al rango de tecnicaturas y, por ende, de meros cursos de formación.

Cuadro IV.A1.10

Colombia: estudiantes universitarios matriculados por disciplina, 2004-2016

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Agronomía, veterinaria y afines	2 270	2 515	2 037	2 586	2 981	3 090	3 339	8 032	8 302	7 599	7 666	6 487	6 733
Bellas artes	3 827	4 775	4 967	6 567	7 002	7 732	6 837	9 336	10 938	10 948	11 289	12 951	12 780
Ciencias de la educación	16 436	11 000	11 432	17 248	21 139	23 654	31 630	39 137	44 049	34 938	35 747	36 174	40 303
Ciencias de la salud	14 191	14 277	13 416	16 087	16 777	16 488	18 127	23 793	26 519	26 727	26 956	28 058	30 905
Ciencias sociales y humanas	25 637	24 055	32 651	39 405	50 934	47 744	48 479	50 589	58 454	57 658	52 992	57 873	61 884
Economía, administración, contaduría y afines	46 039	42 411	43 913	51 553	57 632	63 248	68 589	95 016	114 342	127 552	133 553	141 541	164 034
Ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines	35 690	38 083	35 095	41 330	46 218	46 630	46 040	66 983	74 850	80 154	84 305	84 974	99 054
Matemáticas y ciencias naturales	2 259	2 637	3 032	3 171	3 625	3 820	4 007	4 902	5 236	5 679	6 198	5 747	6 452
Sin clasificar	0	0	0	0	0	39	330	2 004	2 214	535	901	933	1 037

Fuente: Ministerio de Educación de Colombia.

Esta conclusión también puede verificarse en el cuadro IV.A1.11, en el que se registra el aumento del número de graduados en ingeniería y ciencias en Colombia.

Cuadro IV.A1.11

Colombia: graduados de nivel terciario en ingeniería y ciencias

Año	Total de graduados	Graduados en ingeniería y ciencias	Porcentaje del total de graduados	Graduados en ingeniería y ciencias por millón de habitantes
2004	146 349	37 949	25,93	896
2005	139 753	40 720	29,14	949
2006	146 543	38 127	26,02	878
2007	177 947	44 501	25,01	1 013
2008	206 308	49 843	24,16	1 121
2009	212 445	50 450	23,75	1 122
2010	227 378	50 047	22,01	1 100
2011	299 792	71 885	23,98	1 561
2012	344 904	80 086	23,22	1 719
2013	351 790	85 833	24,40	1 822
2014	359 607	90 503	25,17	1 899
2015	374 738	90 721	24,21	1 882
2016	423 182	105 506	24,93	2 169
Tasa de crecimiento anual compuesta	8,92%	8,25%	-0,62%	6,98%

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y Ministerio de Educación de Colombia.

El número de graduados en ingeniería y ciencias creció a una tasa anual del 8,25%, al aumentar de 37.949 en 2004 a 105.506 en 2016.

México

En México hay 906 instituciones de formación postsecundaria, que incluyen universidades, institutos universitarios e institutos terciarios no universitarios¹⁷. En 477 de estas (52,67%) se ofrecen programas de formación en computación, ingeniería eléctrica y electrónica, sistemas de información o similares.

Estas instituciones comprenden un total de 1.702 programas en sistemas de información y control de gestión, computación, ingeniería eléctrica y electrónica o telecomunicaciones. Los títulos de grado, como las licenciaturas o el diploma de ingeniero, tienen una duración de cuatro años o mayor —los de ingeniería son los de mayor duración (cinco años o más)—, mientras que las tecnicaturas y los títulos de tecnólogos prevén una duración de entre dos y tres años. Las maestrías, los doctorados y las especializaciones también duran entre dos y tres años, aunque en algunos casos pueden llegar a cuatro.

De los 1.702 programas de nivel terciario, 1.488 incluyen 2.495 cursos de robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica. Por otra parte, los programas en que no se menciona este tipo de cursos incluyen un gran número de programas de doctorado y maestría con planes de trabajo flexibles que pueden llegar a incluir materias como las estudiadas en este capítulo, aunque no se las mencione.

Para resumir, en el cuadro IV.A1.12 se presentan el número de materias, cursos o asignaturas relacionadas con las tecnologías digitales de avanzada y el número de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

Cuadro IV.A1.12

México: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de cursos			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado/ diplomatura y tecnicatura
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	123	107	63	29	43	126
Otras universidades	784	837	581	38	144	1 322
Total	907	944	644	67	187	1 448
Total por millón de habitantes	7,11	7,40	5,05	0,53	1,47	11,35

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de información oficial.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

La oferta de capacitación de posgrado (doctorados o maestrías) en tecnologías digitales es relativamente limitada en comparación con la cantidad de programas de los diversos niveles de titulación que se ofrecen. Esto podría tener un efecto negativo en la intensidad de la investigación básica y aplicada de alto nivel. A su vez, es importante tener en cuenta que este tipo de formación está muy concentrado en las primeras 20 universidades del país.

En cuanto al énfasis en la formación de tecnologías digitales de avanzada, existe una paridad entre los programas de robótica e inteligencia artificial, aunque con una leve diferencia a favor de estos últimos, mientras que los programas correspondientes a grandes datos están muy rezagados.

Es importante considerar que, de los 1.448 títulos de grado, diplomaturas, tecnicaturas, profesorados y cursos, 1.356 corresponden a títulos de grado, 21 a diplomaturas y especializaciones y el resto a las otras opciones de titulación mencionadas que integran ese grupo de clasificación y poseen un rango menor.

¹⁷ Véase "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es>. En la estadística oficial se mencionan 3.766 instituciones. Sin embargo, un número importante de estas corresponde a organismos privados, apadrinados por empresas interesadas en una formación específica con el propósito de formar rápidamente a los estudiantes para insertarlos en el mercado laboral. Esto significa que, en muchos casos, se podría tratar de títulos inferiores incluso al rango de tecnicaturas y, por ende, de meros cursos de formación.

En general, al igual que en los otros países, la oferta se concentra en cursos aislados dictados en el marco de programas genéricos de ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones o vinculados con el análisis de sistemas. La oferta de programas enfocados en algunas de las tecnologías avanzadas se limita a unas pocas universidades, que representan solo el 3,3% de la titulación examinada (solo 48 programas). Por último, es importante destacar que el Tecnológico Nacional de México posee una gran cantidad de sedes regionales en todo el país, que demuestra la importancia que el Gobierno mexicano da a la formación en tecnologías.

Al mismo tiempo, se contabilizó el número de profesores en algunas de las universidades o centros no universitarios analizados. En varias ocasiones, al no disponer de la cantidad de profesores por programa, se usó la cantidad general de docentes de los institutos y las facultades de índole tecnológica y se calculó el promedio que le correspondería a las carreras contempladas. Al considerar solo algunos de los 1.702 programas sobre los que se obtuvo la información necesaria para realizar el estudio se identificaron 1.265 profesores, cifra que claramente subestima el número real.

Perú

En el Perú hay 182 universidades¹⁸. En 111 de estas se ofrecen programas de formación en computación, ingeniería eléctrica, sistemas de información, control de gestión, ingeniería electrónica o telecomunicaciones. Estas instituciones ofrecen 317 programas de nivel terciario, con 394 cursos de robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica.

En el cuadro IV.A1.13 se presentan el número de programas o cursos relacionados con las tecnologías digitales de avanzada y la cantidad de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

Cuadro IV.A1.13

Perú: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de programas/cursos			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado, tecnicatura, diplomatura y especialización
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	50	25	22	8	20	57
Otras universidades	133	86	78	6	29	197
Total	183	111	100	14	49	254
Total por millón de habitantes	5,76	3,49	3,15	0,44	1,54	7,99

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

La oferta de capacitación de posgrado en tecnologías digitales es moderada. Existen 14 programas de doctorado, la mayor parte de los cuales se concentra en las 20 universidades mejor posicionadas del país.

Al mismo tiempo, el énfasis en la formación de tecnologías digitales de avanzada se registra en robótica y control, mientras que inteligencia artificial y grandes datos son temas minoritarios¹⁹. Por otra parte, las 20 universidades con las posiciones más altas en la clasificación peruana concentran más del 50% de la oferta de programas de doctorado, mientras la oferta de maestrías y títulos de grado en las disciplinas consideradas está mucho más distribuida.

Por último, al considerar solo algunos de los 111 departamentos, se contabilizaron 1.625 profesores involucrados en la oferta de capacitación en tecnologías digitales.

¹⁸ Véase "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es>.

¹⁹ En muchos casos, la formación en inteligencia artificial y grandes datos se limita a unos pocos cursos pues el país carece de formación bajo títulos en tecnologías digitales avanzadas (por ejemplo, licenciatura o maestría en aprendizaje de máquina).

Uruguay

En el Uruguay hay 27 instituciones de formación postsecundaria, que incluyen universidades, institutos universitarios e institutos terciarios no universitarios²⁰. En 11 de estas se ofrecen programas de formación en computación, ingeniería eléctrica y electrónica, sistemas de información o similares. Estas universidades ofrecen un total de 67 programas en sistemas de información y control de gestión, computación, ingeniería eléctrica y electrónica o telecomunicaciones, incluidas 3 carreras cortas, 3 doctorados, 11 maestrías y 50 títulos de grado. De los 67 programas de nivel terciario, 65 incluyen cursos en robótica y control, inteligencia artificial y aprendizaje de máquina, o grandes datos y analítica.

Al mismo tiempo, se contabilizó el número de profesores en algunas de las universidades o centros no universitarios analizados. En el caso de la Universidad de la República, al no disponer del número de profesores por programa, se tomó la cantidad general de docentes de la Facultad de Ingeniería, que incluye al Centro Universitario Regional del Este (CURE).

Para resumir, en el cuadro IV.A1.14 se presentan el número de materias, cursos o asignaturas relacionadas con las tecnologías digitales de avanzada y el número de universidades que otorgan títulos de grado o posgrado en tecnologías digitales.

Cuadro IV.A1.14

Uruguay: oferta de formación y títulos en tecnologías digitales

	Número de cursos			Número de títulos ^a		
	Robótica y control	Inteligencia artificial y aprendizaje de máquina	Grandes datos y analítica	Doctorados	Maestrías	Títulos de grado, diplomatura y tecnicatura
20 universidades mejor posicionadas en la clasificación	28	24	32	3	11	52
Otras universidades	8	5	4	0	0	15
Total	36	29	36	3	11	67
Total por millón de habitantes	10,45	8,42	10,45	0,87	3,19	19,45

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de información oficial.

^a Se tiene en cuenta que una universidad puede otorgar más de un título en diferentes especialidades.

La oferta de capacitación de posgrado (doctorados o maestrías) en tecnologías digitales es relativamente limitada. Esto podría tener un efecto negativo en la intensidad de la investigación básica y aplicada de alto nivel en el Uruguay y en la capacidad del sistema educativo para formar nuevos profesores.

La oferta de formación en tecnologías digitales de avanzada se concentra en igual medida en robótica y control, y grandes datos, mientras que es mucho menor en lo que respecta a inteligencia artificial.

En general, al igual que en otros países, la oferta se concentra en cursos aislados dictados en el marco de programas genéricos de ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones o vinculados con el análisis de sistemas. La oferta de programas enfocados en algunas de las tecnologías avanzadas se limita a unas pocas universidades (por ejemplo, el Diploma de Especialización en Analítica de *Big Data* de la Universidad ORT).

Por último, la oferta de programas en tecnologías avanzadas se concentra en las 20 universidades en las posiciones más altas de la clasificación correspondiente al Uruguay (solo la Universidad de la República y el CURE, que depende de dicha universidad, pertenecen al ámbito público). Estas concentran más del 80% de la oferta de cursos, todos los programas de doctorado y la mayor parte de la oferta de maestrías en las disciplinas consideradas.

²⁰ Véanse "Ranking web de universidades" [en línea] <http://webometrics.info/es> y Ministerio de Educación y Cultura del Uruguay [en línea] <http://www.mec.gub.uy/>. En la estadística oficial del Censo de Educación Superior se mencionan 18 instituciones.

Al considerar solo algunos de los 67 programas para los que se obtuvo la información necesaria se contabilizaron 1.564 profesores. Se tomó en cuenta la totalidad de los docentes de las facultades de ingeniería de la Universidad de la República y la Universidad de Montevideo, debido a que no existe discriminación por programa y a que gran parte de esas facultades está orientada a las disciplinas objeto de este trabajo.

Con respecto a la demanda de carreras relacionadas con la digitalización, se analizaron las estadísticas de la Universidad de la República, la mayor institución de estudios terciarios del país (véase el cuadro IV.A1.15).

Cuadro IV.A1.15

Uruguay: nuevos inscriptos y egresados por disciplina en la Universidad de la República, 2013-2014

Facultad	2013		2014	
	Nuevos Inscriptos	Egresados	Nuevos Inscriptos	Egresados
Información y Comunicación	677	161	874	153
Ciencias Económicas y Administración	2 980	729	4 093	805
Ingeniería	1 884	314	1 852	248
Subtotal	5 541	1 204	6 819	1 206
Total	23 636	6 269	25 106	5 450
Subtotal/Total	23,44%	19,1%	27,16%	22,13%

Fuente: R. Katz, "Capital humano para la transformación digital en América Latina", serie *Desarrollo Productivo*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018, inédito, sobre la base de Ministerio de Educación y Cultura y Universidad de la República.

Si bien es difícil extraer conclusiones en términos de tendencias sobre la base de estadísticas de dos años consecutivos, se observa un incremento del porcentaje de inscriptos y graduados. Esto podría indicar una situación relativamente similar a las registradas en Chile y Colombia.



CAPÍTULO

V

Tecnologías financieras digitales para la inclusión, ¿qué piensan los países de la región?

- A. Caracterización de las *fintech*
 - B. Soluciones para la inclusión financiera de las mipymes
 - C. Regulación: eficiencia y estabilidad del sistema
 - D. Percepción sobre las tecnologías financieras digitales en América Latina y el Caribe
 - E. Conclusiones
- Bibliografía
- Anexo V.A1

A. Caracterización de las *fintech*

1. Ubicación en la cadena de valor de los servicios financieros¹

No existe un acuerdo respecto del alcance del concepto de tecnologías financieras digitales (*fintech*). Su origen se ubica en 1972, cuando el término fue utilizado por primera vez en un artículo académico en el que se detallaban mecanismos para la resolución de problemas bancarios y se indicaba que *fintech* era un acrónimo referido al uso de la tecnología financiera combinada con la experiencia bancaria y las técnicas automatizadas de gestión (Bettinger, 1972). Por su parte, Schueffel (2016) revisa más de 200 artículos académicos que hacen referencia al concepto, aplica metodologías de análisis semántico y tiene en cuenta opiniones de expertos, y concluye que la expresión se refiere a una nueva industria financiera que aplica la tecnología para mejorar las actividades financieras. Otras aproximaciones al concepto resaltan la aplicación de innovaciones tecnológicas a los servicios financieros y a los nuevos modelos de negocios, procesos o productos (KPMG, 2017). BID/Finnovista (2017) califica como *fintech* a los desarrollos tecnológicos y los nuevos modelos de negocios aplicados durante la última década en el sector financiero.

La Organización Internacional de Comisiones de Valores (OICV) define *fintech* como el uso de tecnología y modelos de negocios innovadores en servicios financieros o, alternativamente, como instituciones no bancarias que usan tecnologías avanzadas para llevar a cabo actividades de la banca tradicional (OICV, 2017)². Esta aproximación introduce una dimensión adicional: la distinción entre la banca tradicional y las entidades no bancarias.

De estas aproximaciones surge un primer elemento importante para este capítulo. El objeto de análisis es el segmento de empresas emergentes (*start-ups*) que prestan servicios en el ámbito financiero mediante el uso de nuevas tecnologías financieras digitales. Así, cuando se hace referencia a las empresas que emplean *fintech* se alude a una industria o conjunto de empresas. Si bien la introducción de nuevas tendencias tecnológicas puede cambiar radicalmente la velocidad, la calidad y el alcance con que se prestan los servicios, el mayor impacto se produce cuando surgen nuevos modelos de negocios que cambian las propuestas de valor, los segmentos del mercado y los límites de la industria.

Existen diversas clasificaciones sobre las funciones financieras afectadas por las *fintech*. La del CEF (2017), una de las más aceptadas, resalta cinco áreas: i) pagos, compensación y liquidación; ii) depósitos, préstamos y captación de capital; iii) seguros; iv) gestión de inversiones, y v) apoyo al mercado. Por su parte, la consultora CB Insights (2018) identifica tendencias emergentes y empresas tecnológicas con potencial de impacto en la industria financiera, y en la clasificación de sus áreas incluye: i) préstamos; ii) pagos y facturación; iii) manejo de finanzas personales y gestión de patrimonio; iv) transferencia de dinero y remesas; v) criptomonedas; vi) mercado de capitales y herramientas para instituciones financieras; vii) préstamos colectivos, y viii) seguros.

Otra óptica es la que se propone en un estudio de BID/Finnovista (2017) donde se realiza un catastro de las empresas emergentes en América Latina que ofrecen algún tipo de servicio financiero. Esa taxonomía se basa en la actividad principal del negocio: i) plataforma de financiamiento alternativo; ii) puntaje alternativo (*scoring*); iii) soluciones de pago; iv) gestión de finanzas personales; v) gestión de finanzas empresariales; vi) gestión patrimonial; vii) negociación de activos financieros (*trading*) y mercado de valores; viii) empresas de tecnología para instituciones financieras; ix) bancos digitales, y x) seguros.

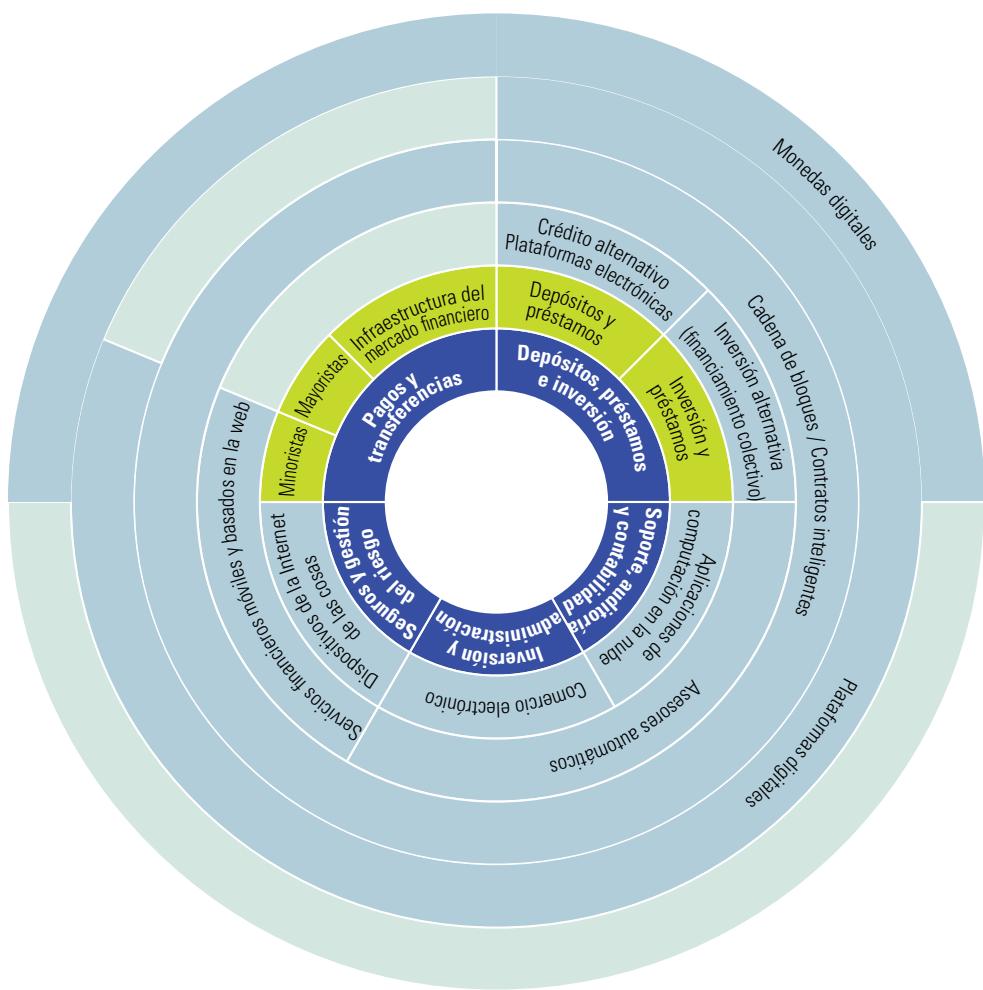
Desde la óptica de las innovaciones tecnológicas con potencial de apoyar el acceso de las pequeñas empresas al financiamiento, Ventura y otros (2015) identifican cinco tipos de productos: i) préstamos entre pares (P2P); ii) comercio y finanzas de comercio electrónico; iii) facturación financiera; iv) cadena de suministro de las finanzas, y v) financiamiento del comercio.

¹ Este capítulo fue elaborado por Jorge Patiño y Laura Poveda (funcionarios de la CEPAL) y el Consultor Leonardo Mena.

² La OICV es una asociación de organizaciones que regulan los mercados de valores y futuros a nivel mundial. Sus miembros suelen ser el principal regulador financiero de cada país o los reguladores primarios del mercado de valores o futuros en determinada jurisdicción nacional.

A continuación, sobre la base de Tapscott y Tapscott (2016), se describe una clasificación de servicios financieros en los que las *fintech* pueden tener un papel disruptivo (véase el diagrama V.1).

Diagrama V.1
El sistema de *fintech*



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Consejo de Estabilidad Financiera (CEF), "Financial stability implications from fintech: supervisory and regulatory issues that merit authorities' attention", Basilea, 2017 [en línea] <http://www.fsb.org/wp-content/uploads/R270617.pdf>.

a) Autenticación, custodia y fe del valor

En la actualidad, se usan intermediarios tradicionales para establecer la confianza y verificar la identidad en una transacción financiera; ellos son los principales árbitros para acceder a servicios financieros básicos, como cuentas bancarias y préstamos. Las *fintech* pueden disminuir y algunas veces eliminar la necesidad de ese tipo de intermediario en ciertas transacciones. También permiten establecer una identidad verificable, robusta y criptográficamente segura en una relación entre pares mediante, por ejemplo, instrumentos de identificación digital y tecnologías de contabilidad distribuida (cadenas de bloques).

b) Pagos y transferencias

Los sistemas financieros permiten el movimiento de dinero, valores, bonos y títulos a nivel nacional o internacional, y para ello se han establecido redes, prácticas y estándares. Por su parte, algunas empresas que no son nuevas han diseñado y puesto en marcha soluciones alternativas para esas transferencias. Algunos

ejemplos son las plataformas de pago de Google (Google Pay), Apple (Apple Pay) y Samsung (Samsung Pay), y los operadores móviles de telecomunicaciones que ofrecen servicios de pago. Entre 2011 y 2016, el número de soluciones comerciales de dinero móvil en América Latina aumentó de 10 a 33, mientras que la cantidad de mercados en los que hay servicios de ese tipo creció de 8 a 17 (Rralthatha y Sanín, 2017).

c) Créditos

Las instituciones financieras prestan recursos mediante tarjetas de crédito, hipotecas, bonos y valores respaldados por activos, y han generado una industria de evaluación crediticia, con mecanismos como los puntajes de crédito en el caso de las personas o las calificaciones crediticias cuando se trata de empresas. Este sistema tiene dos importantes limitaciones: i) la capacidad de prestar depende mucho de la habilidad para determinar el riesgo y ii) existen fricciones al ajustar o renegociar tasas y garantías, lo que encarece los costos y excluye a actores sin historia crediticia (o con un historial de fracasos) o sin garantías reales. Las nuevas tecnologías tienen la capacidad de reducir la intermediación en las actividades de inscripción, negociación y liquidación de los instrumentos de deuda, así como de disminuir el riesgo de la operación. Plataformas de comercio electrónico como Amazon y AliExpress ofrecen a sus usuarios financiamiento de capital de trabajo y servicios de factorización (*factoring*).

d) Instrumentos de cambio (criptomonedas)

Los mercados globales facilitan el intercambio de activos e instrumentos financieros con el propósito de transferir valor. Los instrumentos de cambio digitales, especialmente las criptomonedas, son una de las innovaciones más disruptivas en el sistema financiero tradicional. Las empresas y personas pueden beneficiarse de esas innovaciones si se reducen los costos de transacción (*spreads*), se agilizan las operaciones y se eliminan los intermediarios. Por otra parte, la tecnología de cadena de bloques (*blockchain*) ofrece ventajas en términos de seguridad, integridad e incluso transparencia. El crecimiento de las criptomonedas ha sido exponencial. En enero de 2017 existían alrededor de 1.384 criptomonedas y las más conocidas eran bitcóin, ethereum, ripple, bitcóin cash y cardano (CoinMarketCap, 2018). No obstante, su uso en actividades ilegales y algunos aspectos fiscales no resueltos son motivo de análisis y controversia.

e) Inversión

En muchos casos, la materialización de una inversión requiere de diversos actores (bancos, aseguradoras y servicios legales). En la medida en que las nuevas tecnologías reducen los costos de transacción y permiten una evaluación del riesgo más eficiente, las oportunidades de mercado aumentan y las empresas pueden acceder a nuevas fuentes de recursos. Las soluciones de financiamiento colectivo (*crowdfunding*) habilitadas por las plataformas digitales permiten nuevos modelos de financiamiento entre pares y reducen las asimetrías de información y los costos financieros. Estos mecanismos facilitan el financiamiento a nuevos emprendimientos de todo tipo, en particular, los de carácter social, medioambiental o artístico. Existen dos formas de financiamiento colectivo alternativo: i) una basada en incentivos, donde el emprendedor hace una venta anticipada de un producto o concepto sin endeudarse ni sacrificar parte del negocio, y ii) otra en la que se ofrece en línea una parte del capital accionario de una empresa (Hsieh, 2014).

f) Seguros y gestión del riesgo

En el mercado financiero se han desarrollado productos e instrumentos destinados a la protección de pérdidas financieras como forma de gestión del riesgo. Las empresas que aplican nuevas tecnologías a los negocios de seguros (*insurtech*) están captando una gran cantidad de recursos³. Hacia 2015 se estimaba que se habían invertido cerca de 2.700 millones de dólares en este tipo de emprendimientos a nivel mundial.

³ *Insurtech* es un término inspirado en *fintech*.

Estas empresas se enfocan en la distribución y venta de seguros de propiedad y accidentes, salud y vida. Los productos como microseguros o seguros entre pares se basan en tecnologías como las de aprendizaje de máquina (*machine learning*), asesoramiento automático (*robo-advisors*) e Internet de las cosas (Tanguy y otros, 2017). Algunos países, como China, la Federación de Rusia y la India, están realizando cambios regulatorios con el objetivo de mejorar la accesibilidad de los servicios de seguros mediante tecnologías digitales (CEF, 2017).

g) Auditoría y contabilidad

Estas actividades enfrentan retos en términos de reducción de costos, aumento de la eficiencia y mantenimiento de la calidad. Las *fintech* permiten diseñar sistemas de contabilidad y auditoría que hacen uso de plataformas en línea y se integran a otras funciones del negocio, como el manejo de las planillas de salarios y las declaraciones de impuestos. Este tipo de soluciones también puede mejorar la capacidad de los reguladores y otras partes interesadas en examinar los registros financieros de una empresa.

2. Potencial disruptivo

El potencial transformador de las *fintech* es reforzado por la velocidad con que se incorporan esas tecnologías y la capacidad de las nuevas empresas de desafiar a las establecidas. Las nuevas trayectorias suelen estar enfocadas en los clientes del extremo inferior de la demanda (donde las utilidades son menores) o basadas en la incorporación de nuevos segmentos de mercado. En el primer caso hay lugar para las nuevas empresas porque las establecidas están abocadas a atender a los segmentos más lucrativos e ignoran las necesidades del resto. En el segundo, las innovaciones disruptivas se orientan a crear un mercado donde no lo hay o a transformar a no consumidores en consumidores (Christensen, Raynor y McDonald, 2015).

Según el Foro Económico Mundial (2017), son varias las fuerzas que impulsan la disruptión en la industria financiera: la transformación de los costos fijos de la compra de activos en costos variables de adquisición de un servicio, la posibilidad de redistribución de beneficios, la transferencia de poder hacia las empresas que se conectan directamente con los clientes, la posibilidad de las plataformas de conectar a múltiples instituciones, la capacidad de monetizar el análisis de datos, la habilidad de las máquinas de replicar comportamientos humanos, la creciente dependencia de las empresas tecnológicas líderes y las diferencias regulatorias.

De esta forma, cada vez más empresas están prestando servicios y especializándose en mejorar la experiencia del usuario. Las amenazas reales a las empresas establecidas varían según el tipo de negocio. Pese a estar protegidas por la regulación, las actividades de los bancos minoristas (depósitos, préstamos y administración de cuentas y seguros) enfrentan nuevos competidores que surgen como agregadores que buscan entrar en el mercado de ventas finales, convirtiéndose en intermediarios. Esta competencia reduce los márgenes de distribución de las empresas establecidas (McKinsey Global Institute, 2015). El impacto es más evidente en los sistemas de pagos debido a las innovaciones disruptivas y a la aparición de agentes no bancarios. Este fenómeno se potencia por la irrupción del comercio electrónico y la baja cobertura bancaria en muchos países en desarrollo. La banca para pequeñas y medianas empresas (pymes) es un segmento susceptible a la entrada de nuevos actores, mientras que la banca corporativa, que incluye servicios más sofisticados (préstamos sindicados, préstamos basados en activos y otros), podría verse menos afectada.

En suma, McKinsey Global Institute (2015) estima que las reducciones de utilidades e ingresos hacia 2025 serían significativas para las cinco actividades más importantes de los bancos minoristas: financiamiento al consumo, pagos, préstamos a pymes, gestión de patrimonios e hipotecas (especialmente en la primera) (véase el cuadro V.1).

Cuadro V.1

Efectos hacia 2025 de la disrupción de las nuevas tecnologías financieras digitales en cinco mercados minoristas
(En porcentajes)

Mercados	Cambio en las utilidades	Cambio en los ingresos
Financiamiento al consumo	-60	-40
Pagos	-35	-30
Préstamos a pequeñas y medianas empresas (pymes)	-35	-25
Gestión de patrimonios	-30	-15
Hipotecas	-20	-10

Fuente: McKinsey Global Institute, *The Fight for the Customer: McKinsey Global Banking Annual Review 2015*, Nueva York, 2015.

Nota: Cambios en comparación con las proyecciones a 2025 sin el impacto de las fintech. Las utilidades se consideran después de impuestos e incluyen los ahorros en los costos de operación como resultado de la digitalización. Los ingresos son después del costo de riesgo. En la gestión de patrimonios se excluyen los depósitos.

En los países menos avanzados, las bajas tasas de bancarización se convierten en una oportunidad para el surgimiento de nuevos servicios. En África y Asia, por ejemplo, el despliegue de soluciones de pago móvil ha sido significativo y las regulaciones para reducir la circulación de papel moneda (como las que se han puesto en marcha en la India) estimulan el uso de medios digitales, como las billeteras electrónicas. Por otra parte, las nuevas plataformas reducen los márgenes de ganancia en las transferencias de dinero: soluciones como TransferWise, que ha reducido más de un 80% los costos de envío de dinero, presentan nuevas opciones a los usuarios.

Si bien los métodos de prestación de servicios y sus actores están cambiando con rapidez, no es evidente que las tendencias de las fintech estén cambiando fundamentalmente la intermediación en el sistema financiero o las funciones económicas (CEF, 2017). En definitiva, aunque en la industria existen importantes espacios de disrupción, su impacto dependerá no solo de la innovación, sino también de las preferencias de los usuarios. Las estrategias que sigan las autoridades reguladoras también condicionarán estas transformaciones y su alcance.

3. La dinámica reciente

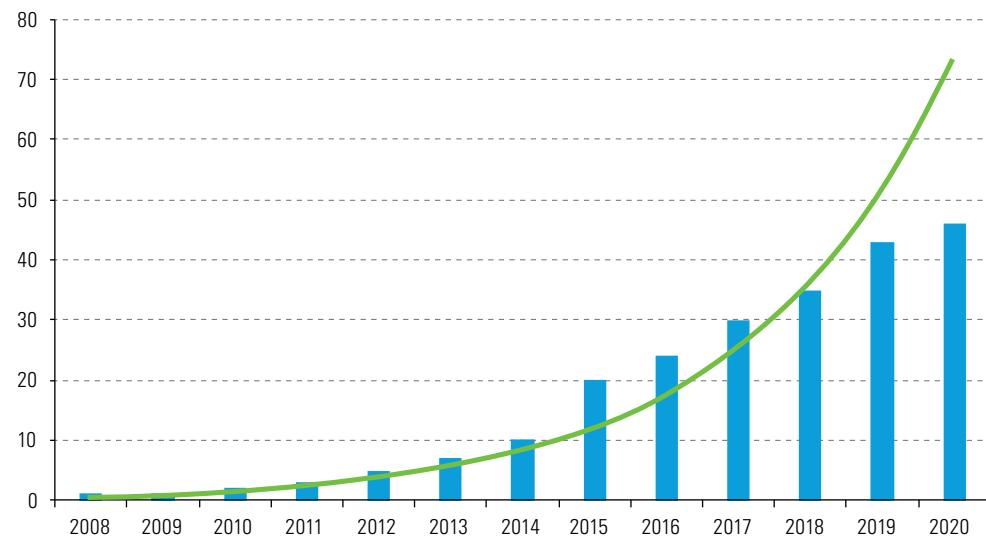
Se espera que la inversión en fintech aumente de forma acelerada y llegue a 46.000 millones de dólares hacia 2020 (véanse el gráfico V.1 y Deloitte, 2015). Esta tendencia es impulsada principalmente por la innovación tecnológica, pero también por las preferencias de los usuarios y los cambios regulatorios. Los principales mercados que lideran la tendencia son los Estados Unidos y China. Según EY (2017), en la tasa de adopción de estas tecnologías por parte de la población destacan China (69%), la India (52%), el Reino Unido (42%), el Brasil (40%), Australia y España (ambos con un 37%) y México (36%). De las 27 empresas unicornio de fintech que existen a nivel mundial, 14 están en los Estados Unidos y 8 en China⁴. Sin embargo, el valor de esas empresas en China supera ampliamente el de sus pares estadounidenses (Citigroup, 2017).

En América Latina también se observa una tendencia creciente en el desarrollo de empresas que emplean fintech. Según BID/Finnovista (2017), existen 703 empresas emergentes dedicadas a estas tecnologías en 15 países de la región y el 90% de ellas están en el Brasil, México, Colombia, la Argentina y Chile (el 58% de los emprendimientos se ubican en los dos primeros países). Entre 2014 y 2016 se creó el 60% de las empresas que ofrecen ese tipo de servicios en la región (BID/Finnovista, 2017). En 2016, la mitad de esas empresas se dedicaba principalmente en la prestación de servicios de financiamiento colectivo y medios de pagos (véase el gráfico V.2).

⁴ Una empresa unicornio es una empresa con una valoración de mercado de más de 1.000 millones de dólares.

Gráfico V.1Inversiones mundiales en *fintech*, 2008-2020^a

(En miles de millones de dólares)

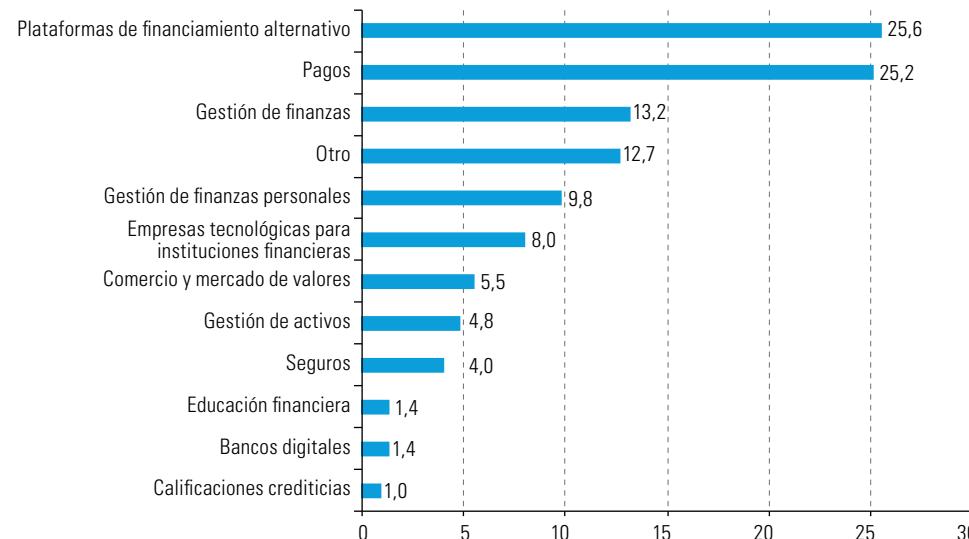


Fuente: Deloitte, "2016 Financial services M&A predictions: rising to the challenge", Londres, 2015 [en línea] <https://www2.deloitte.com/uk/en/pages/financial-services/articles/2016-financial-services-ma-predictions.html>.

^a De 2015 a 2020 son estimaciones.

Gráfico V.2América Latina: iniciativas *fintech*, por segmentos, 2016

(En porcentajes)



Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo/Finnovista (BID/Finnovista), *Fintech: innovaciones que no sabías que eran de América Latina y el Caribe*, Washington, D.C., 2017.

La distribución del número de empresas que emplean *fintech* por segmento de actividad y país muestra que los segmentos más importantes son: pagos y remesas, préstamos, gestión financiera empresarial y personal, y financiamiento colectivo (véase el cuadro V.2).

Cuadro V.2

América Latina (7 países): distribución de empresas de *fintech*, según segmento de actividad
 (En porcentajes del número total de empresas)

	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Ecuador	México	Perú
Pagos y remesas	25	26	21	22	16	20	21
Pagos: criptomonedas	8	5				2	
Préstamos entre pares (P2P)	5	2	7			6	
Préstamos	8	10	4	17	3	17	24
Comercio y mercado	3	3	4	6	3	1	11
Gestión financiera empresarial	18	15	11	12	32	15	9
Financiamiento colectivo	7	8	14	8	13	9	9
Gestión de patrimonios	7	7	4	1	6	3	
Seguro	7	5	5	5	3	6	4
Puntaje, identidad y fraude	5	5	5	12		3	
Gestión financiera personal	7	11	9	12	3	10	4
Educación financiera y ahorro		1	7	5		5	
Banca digital		2			3		
Bitcóin			9				
Tecnologías empresariales para instituciones financieras					16	4	6
Puntaje alternativo (<i>scoring</i>)							6
Ahorros							6

Fuente: Finnovista.

Nota: Cifras redondeadas.

B. Soluciones para la inclusión financiera de las mipymes

1. Acceso al financiamiento

Uno de los principales retos que enfrentan las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) es el acceso al financiamiento. Con base en las tecnologías financieras digitales, han surgido modelos de negocios con el potencial de aumentar significativamente ese financiamiento. Ventura y otros (2015) resaltan cinco productos que ofrecen soluciones a este segmento de empresas: las plataformas para préstamos entre pares, el financiamiento de operación que ofrecen ciertas empresas de comercio electrónico, el financiamiento de facturas (factorización), el financiamiento de la cadena de suministro y el financiamiento del comercio internacional. A continuación, se detallan estos servicios.

a) Plataformas de préstamos entre pares

Si bien los modelos de negocios varían de una plataforma a otra, básicamente consisten en soluciones que facilitan las conexiones entre prestatarios y prestamistas, donde por lo general no se solicitan garantías y se utilizan modelos innovadores de calificación de riesgo. Estos modelos se basan en el análisis de datos y emplean mecanismos semiautomáticos. Las fuentes de información son plataformas digitales o redes sociales y las solicitudes de préstamos a través de estas plataformas suelen ser más fáciles de obtener que en el sistema bancario.

b) Financiamiento de plataformas de comercio electrónico

Plataformas como Amazon, eBay o Alibaba facilitan líneas de crédito y capital de trabajo a sus usuarios. En muchos casos, estas plataformas están más preparadas para evaluar el riesgo crediticio que los bancos, dado que cuentan con información más detallada de las transacciones comerciales de sus usuarios. Asimismo, la cobranza puede ser más eficiente, ya que las transacciones se realizan a través de sus sistemas y los pagos se pueden deducir directamente de las cuentas de los usuarios.

c) Financiamiento de facturas

Las ventas a crédito generan cuentas por cobrar en el balance de las empresas. En muchos casos, estas venden esas cuentas con una tasa de descuento para obtener liquidez. Así, se ofrecen soluciones en línea para el financiamiento de facturas que permiten monetizar las cuentas por cobrar. Estas soluciones pueden estar directamente integradas a los programas contables, lo que reduce los costos de las solicitudes de crédito de las pymes.

d) Financiamiento de la cadena de suministro

Consiste en soluciones que permiten a las empresas proveedoras de servicios tener mejores opciones de pago en su cadena de suministro. Mediante una plataforma, los proveedores pueden enviar las facturas a los compradores, con la opción de que un tercero ofrezca un pago a menor plazo aplicando una tasa de descuento. Estas operaciones, que se ven agilizadas por las opciones tecnológicas y la integración de sistemas de planificación de recursos empresariales en línea, no son consideradas como créditos y ofrecen soluciones para que las pequeñas empresas proveedoras de bienes y servicios reciban sus pagos en plazos más cortos.

e) Financiamiento del comercio internacional

Las mipymes tienen pocas opciones para acceder a este tipo de financiamiento pues carecen de recursos para hacer frente a los complejos procesos involucrados. Sin embargo, algunas innovaciones recientes permiten contar con sistemas integrados en línea que reemplazan las cartas de crédito tradicionales. Así como en otros productos financieros, existen opciones donde terceros pueden proporcionar financiamiento a este tipo de operaciones.

2. Nuevas propuestas de valor

Las nuevas propuestas de valor de las empresas que emplean *fintech* tienden a enfocarse en soluciones específicas o a medida, especialmente diseñadas para ofrecer productos o servicios que la banca tradicional no ofrece. Este tipo de soluciones puede tener efectos positivos en las mipymes al brindar mayor liquidez, mejorar la administración del capital de trabajo y proporcionar nuevos canales de financiamiento. Con base en BID/Finnovista (2017), se revisan a continuación ejemplos latinoamericanos de este tipo de empresas.

a) Autenticación, custodia y fe de valor

RSK (Argentina) es una plataforma descentralizada de contratos inteligentes basada en cadenas de bloques (*blockchain*), cuyo objetivo es añadir valor mediante la implementación de contratos inteligentes y pagos instantáneos⁵. En marzo de 2016 la empresa recaudó un millón de dólares para el desarrollo de su plataforma y su expansión a Europa, Asia y los Estados Unidos.

⁵ Véase [en línea] <https://www.rsk.co/>.

b) Pagos y transferencias

Clip (México) ofrece a negocios o personas una solución para aceptar pagos con tarjetas de crédito o débito directamente en un teléfono inteligente o tableta, mediante un aparato lector que se conecta a la salida de audio del dispositivo⁶. Esta fue la primera empresa emergente mexicana en atraer capital de Silicon Valley.

c) Crédito alternativo o colectivo

Creditas (Brasil) es una plataforma de préstamos en línea creada en 2013 que financia préstamos en que los prestatarios ofrecen sus casas o automóviles como garantía⁷. A diciembre de 2016 contaba con una cartera de créditos activos de cerca de seis millones de dólares.

d) Instrumentos de intercambio

Bitso (México) ofrece servicios financieros incluyentes y de bajo costo⁸. Opera desde 2014, enfocada en la regulación y el cumplimiento de la diligencia debida de sus clientes. En septiembre de 2016 recaudó 2,5 millones de dólares en una ronda de financiamiento de inversionistas institucionales (Variv Capital, Monex Group, FundersClub y Digital Currency Group).

e) Inversión alternativa o colectiva

Kubo Financiero (México) es la primera comunidad en línea de servicios financieros entre pares en el país y también la primera autorizada por la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV)⁹. Es una plataforma en la que los prestatarios con buen historial crediticio obtienen mejores condiciones de tasas de interés y plazos, al tiempo que los inversionistas logran mejores rendimientos. Kubo Financiero ha otorgado 6.729 préstamos, tiene 6.616 clientes y crece a una tasa del 300% anual.

f) Seguros y gestión del riesgo

Comparamejor (Colombia) es una plataforma en línea que permite comparar y ofrecer seguros para automóviles y motos¹⁰. Desde su lanzamiento en 2011, se ha asociado con más de 11 compañías aseguradoras y ha vendido más de 15.000 pólizas. Su sitio web recibe alrededor de 200.000 visitas mensuales. Es el portal independiente de seguros más grande del país y el intermediario digital con mayor volumen de negocios en este segmento.

g) Auditoría y contabilidad

Nubank (Brasil) es una empresa emergente que ha puesto en marcha un servicio mediante el cual se pueden solicitar cuentas y tarjetas de crédito a través de una aplicación móvil¹¹. Al ofrecer un servicio totalmente digital, tiene bajos costos operacionales y no cobra tarifas de mantenimiento de cuentas. Además, ha desarrollado una base de datos y un sistema de calificación crediticio dirigido a los clientes: mientras que los bancos solo usan unas 10 variables para evaluar a los clientes, Nubank utiliza entre 2.000 y 3.000. Fundada en 2014, ha recibido más de 8 millones de solicitudes y recaudado más de 170 millones de dólares para inversión.

⁶ Véase [en línea] <https://clip.mx/>.

⁷ Véase [en línea] <https://www.creditas.com.br/>.

⁸ Véase [en línea] <https://bitso.com/>.

⁹ Véase [en línea] <https://www.kubofinanciero.com/>.

¹⁰ Véase [en línea] <https://comparamejor.com/>.

¹¹ Véase [en línea] <https://www.nubank.com.br/>.

C. Regulación: eficiencia y estabilidad del sistema

1. Factores de riesgo

El principal riesgo asociado a la entrada de nuevos agentes financieros es su posible efecto negativo en la estabilidad del sector y la protección al consumidor (Zetzsche y otros, 2017). En cuanto a la estabilidad del sector financiero, CEF (2017) plantea que los riesgos son de tipo microfinanciero o macrofinanciero. Los primeros hacen que las empresas individuales, la infraestructura del mercado financiero o algunos sectores sean vulnerables a choques, en tanto que los segundos son vulnerabilidades que pueden amplificar los choques en el sistema financiero y, con ello, aumentar la probabilidad de inestabilidad financiera.

Magnuson (2017) señala cuatro factores como los principales contribuyentes al riesgo de inestabilidad financiera: i) la medida en la que los actores individuales son vulnerables a choques rápidos y adversos, ii) la existencia de múltiples vías para que los choques adversos se extiendan de una institución a otra, iii) el grado de asimetría de la información en el mercado, y iv) el tamaño total del mercado. Si bien la sola presencia de una de estas características puede no ser suficiente para concluir que existe un riesgo sistémico, su existencia es un indicador.

En materia de protección al consumidor, los riesgos varían según servicios y tecnologías. Por ejemplo, en las plataformas entre pares, la anonimidad puede facilitar el fraude, en tanto que en las cadenas de bloques, una duda sobre la legalidad jurídica de un contrato inteligente puede introducir incertidumbre. Por otra parte, las plataformas de inversión y manejo de activos que operan con asesores automáticos (*robo-advisors*) pueden tener errores en sus sistemas y algoritmos que lleven a resultados no deseados (OICV, 2017).

2. Modelos alternativos

El sistema financiero se enfrenta a cambios tecnológicos derivados de la digitalización de sus operaciones, transacciones y monedas. Dado que las empresas de *fintech* prestan servicios que ofrecen alternativas a las actividades financieras tradicionales, los gobiernos, los entes regulatorios y el propio sistema financiero deberán innovar en los procesos de cooperación internacional público-privada para la transferencia y la seguridad de datos y de recursos, si quieren seguir albergando este tipo de negocios en el marco de la lógica de la banca tradicional.

El debate regulatorio acerca de esas empresas debe considerar dos aspectos. Por una parte, es necesario reconocer su potencial como agentes de cambio que pueden contribuir, en el corto plazo, a aumentar la competencia en el sector financiero, contar con una banca más diversificada, reducir los precios, aumentar la posibilidad de usar los servicios y mejorar la eficiencia en los distintos eslabones de la cadena de valor, contribuyendo así a la inclusión financiera. Por la otra, se deben disminuir los riesgos asociados a la incertidumbre y los efectos no deseados, custodiando los objetivos de estabilidad financiera, protección al consumidor, competencia y desarrollo del mercado.

La aproximación regulatoria en materia de empresas que emplean *fintech* varía de un país a otro y depende de la estructura de cada mercado. Las experiencias más recientes se mueven en dos sentidos: mientras que el Reino Unido, que pasa de una regulación basada en productos a una basada en principios, se enfoca en la protección del consumidor e introduce entornos de prueba regulatorios (*sandboxes*) y una mayor cooperación con la industria, China, que sigue enfocándose en productos, está introduciendo una segmentación en el tratamiento de las transacciones (las de menor tamaño pueden realizarse mediante empresas de Internet y las más grandes deben ser manejadas por las instituciones establecidas (bancos estatales)) (Arner, Barberis y Buckley, 2016).

La labor regulatoria es particularmente compleja. Los enfoques basados en productos pueden, en principio, ser técnicamente atractivos, pero presentan dificultades si se opera en un contexto donde diversas entidades llevan a cabo múltiples actividades. El alcance transversal de las regulaciones y la necesidad de contar con capacidad para fiscalizarlas puede volverlas inaplicables. Por otra parte, la regulación por tipo de entidad puede resultar más simple, pero al mismo tiempo puede dejar sin regulación a actores relevantes o bien no extender las regulaciones a actores de otras actividades.

Es necesario equilibrar la innovación y la protección a los consumidores y la estabilidad financiera. Ante la incertidumbre, una opción puede ser adoptar un enfoque flexible que permita que la tecnología se desarrolle y los mercados maduren antes de intervenir. Para el regulador, se trata de encontrar una solución que permita una transición gradual, al tiempo que le posibilite contar con más información antes de definir algún tipo de acción.

3. Condicionantes

A continuación, se describen algunos temas que los reguladores deben tener en cuenta para el tratamiento de las empresas de tecnologías financieras digitales.

a) Tecnología regulatoria

La aplicación de las tecnologías digitales a la regulación supone una oportunidad. La innovación regulatoria podría mejorar los procesos y hacer que se pueda contar con información más detallada de los mercados. En este caso, los reguladores no serían solo espectadores del avance tecnológico, sino también innovadores que interactúan con la industria. En varios países, como el Reino Unido, hay espacios de cooperación entre reguladores y empresas, y se consideran inversiones en tecnología regulatoria. Algunas de esas nuevas tecnologías son: el análisis de patrones, la programación predictiva para detectar acciones irregulares y el análisis de grandes datos (Arner, Barberis y Buckley, 2016).

b) Mejorar la calidad de la información y el diálogo

En muchos ámbitos, las empresas de *fintech* operan de diferente forma que las instituciones financieras establecidas. Por este motivo, es necesario generar mecanismos que permitan comprender mejor su comportamiento. Los reguladores pueden, con este propósito, crear incentivos que faciliten la interacción con estas empresas y su monitoreo. Un instrumento ya mencionado es la creación de entornos de prueba regulatorios, donde se puede experimentar y lanzar nuevos productos en contextos poco regulados. Otra iniciativa que puede facilitar la interacción con este tipo de empresas es la creación de divisiones o unidades específicas sobre *fintech* en las instituciones regulatorias y la promoción de organismos que agrupen a estas empresas (en el anexo V.A1 se presenta una lista de las principales asociaciones de *fintech* en la región).

c) Promover la cooperación internacional

Gran parte de las actividades de las empresas de *fintech* tiene un carácter transfronterizo; por ello, las regulaciones que se apliquen en una jurisdicción en particular pueden afectar a otros mercados. Por ejemplo, muchos sitios de financiamiento colectivo (*crowdfunding*) operan a nivel internacional conectando a actores en distintos países, las tecnologías de cadenas de bloques funcionan de forma descentralizada y los asesores automáticos de inversiones prestan servicios en línea a clientes en todo el mundo. En este escenario, es importante que los reguladores de distintos países cooperen entre sí para mejorar su comprensión de estas innovaciones y actuar de forma coordinada, con lo que se reducen riesgos sistémicos. Esta cooperación no implica que las regulaciones sean uniformes, sino que haya intercambio de experiencias entre distintas aproximaciones al fenómeno (Magnuson, 2017).

d) Promover la innovación

No es necesario que las nuevas tecnologías superen en todo a las existentes; basta con que permitan que los clientes que hoy están fuera del mercado o deben pagar precios excluyentes puedan incluirse. Un ejemplo es la gestión de cartera mediante asesores automáticos. En la medida en que gran parte de las personas y empresas están excluidas de estos servicios, debido a que requieren de personal altamente calificado, la acción de tales asesores les puede permitir incursionar, aunque sea en forma limitada, en nuevos instrumentos y oportunidades.

D. Percepción sobre las tecnologías financieras digitales en América Latina y el Caribe

Con el fin de tener un panorama del estado del tratamiento regulatorio de la industria de *fintech* en la región, a continuación se presentan los resultados de una encuesta realizada a un grupo de 11 países, donde se recogen opiniones de instituciones de regulación financiera sobre tres temas: i) su impacto potencial, ii) el tratamiento normativo y regulatorio, y iii) las oportunidades y riesgos. En el cuadro V.3 se detallan los países y las instituciones que respondieron a esa encuesta realizada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)¹².

Cuadro V.3

América Latina y el Caribe: países e instituciones que respondieron al cuestionario sobre el estado del marco normativo y regulatorio de la industria de *fintech*

País	Institución
Argentina	Banco Central de la República Argentina
Brasil	Banco Central del Brasil
Colombia	Superintendencia Financiera de Colombia
Costa Rica	Superintendencia General de Entidades Financieras (SUGEF)
El Salvador	Superintendencia del Sistema Financiero (SSF)
Guatemala	Superintendencia de Bancos
Honduras	Comisión Nacional de Bancos y Seguros (CNBS)
México	Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV)
Paraguay	Superintendencia de Bancos
República Dominicana	Superintendencia de Bancos de la República Dominicana
Uruguay	Banco Central del Uruguay, Superintendencia de Servicios Financieros

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

1. Impacto potencial

En el cuadro V.4 se muestra la percepción del efecto esperado de las empresas que emplean *fintech* en siete segmentos del mercado financiero vinculados con la clasificación de actividades presentada al inicio del capítulo. Las autoridades consultadas destacan al segmento de pagos y transferencias como el de mayor impacto, seguido por los de crédito colaborativo y la inversión alternativa o colaborativa. Estos resultados coinciden con la importancia de la inversión de empresas que emplean esas nuevas tecnologías en estos segmentos.

México, Guatemala, el Paraguay y Colombia son los países que consideran que las *fintech* tienen el mayor potencial y capacidad de permear un elevado número de actividades financieras. El Brasil, pese a ser uno de los países líderes en la región en esta actividad, no tiene una posición tan optimista.

Además de los segmentos incluidos, algunos países consideran que los servicios de soporte a las tecnologías digitales las plataformas de negociación bursátil, la validación de identidad a través de biometría y la gestión de finanzas personales también son actividades que pueden verse muy afectadas por el desarrollo de dichas tecnologías.

¹² La encuesta fue realizada entre enero y febrero de 2018. Las personas encuestadas se desempeñaban como intendentes de estudios, jefes de riesgo operacional, analistas, asesores o directores de regulación, por mencionar algunos cargos.

Cuadro V.4

América Latina y el Caribe (11 países): intensidad del efecto esperado de la industria de *fintech*, según segmentos del mercado
(En segmentos del mercado financiero)

Segmento	México	Guatemala	Paraguay	Colombia	Uruguay	República Dominicana	Honduras	Argentina	El Salvador	Costa Rica	Brasil
Autenticación, custodia y fe del valor	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pagos y transferencias	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Crédito alternativo o colectivo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Instrumentos de intercambio	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Inversión alternativa o colectiva	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Seguros y gestión del riesgo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Auditoría y contabilidad	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base del cuestionario sobre el estado del marco normativo y regulatorio de la industria de *fintech*.

Nota: Los colores indican la intensidad de efecto esperado; cuanto más oscuro es el color, mayor es el efecto esperado.

2. Tratamiento normativo y regulatorio

De los 11 países que respondieron la encuesta, 8 cuentan con normativa reciente sobre empresas de *fintech* o esperan contar, en el corto plazo, con algún tipo de regulación de esas actividades (véase el cuadro V.5). Entre ellos se destaca México, con la promulgación, en marzo de 2018, de la Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera, que provee un marco para esos servicios. Esta Ley, que pone a México a la vanguardia en materia de disposiciones para el desarrollo de esos servicios en la región, aborda aspectos sobre los fondos de pago electrónico, el financiamiento colectivo y los activos virtuales (véase el gráfico V.3).

En el cuadro V.6 se muestran los temas sobre los que se ha emitido o se espera emitir algún tipo de regulación en el corto plazo. Hasta la fecha, los reguladores se han abocado principalmente a dictar normas sobre aspectos referidos a los medios de pago y las transferencias, lo que se explica por la alta concentración de empresas en la prestación de este tipo de servicios.

Otro segmento que también concentra la atención es el de las soluciones de financiamiento alternativo o colectivo. El Consejo Directivo de la Unidad de Proyección Normativa y Estudios de Regulación Financiera (URF) del Ministerio de Hacienda de Colombia aprobó el proyecto de decreto que reglamentará las plataformas electrónicas de financiamiento colaborativo en el país, que se espera que entre en vigor en 2018. Este proyecto establece las normas en cuanto a límites de montos de inversión y financiamiento, comunicación de información, estándares operativos de la infraestructura requerida, prevención del lavado de activos y manejo del conflicto de intereses, entre otros.

En agosto de 2017, por ejemplo, el Banco Central del Brasil también divulgó el edicto de consulta pública núm. 55 de 2017 referente a la propuesta de regulación de las empresas especializadas en operaciones de préstamo a través de plataformas electrónicas, donde se dispone la creación de sociedades de crédito directo y sociedades de préstamo entre personas. Las primeras tendrán como actividad principal realizar préstamos a través de plataformas electrónicas utilizando recursos financieros que tengan como único origen el capital propio, en tanto que las segundas se refieren a las actividades de intermediación entre prestatarios y prestamistas (préstamos entre pares).

Además de los segmentos considerados, algunos países, como El Salvador y Guatemala, han manifestado la posibilidad de dictar regulaciones para el intercambio de divisas.

Cuadro V.5

América Latina (8 países): normas adoptadas recientemente o proyectos normativos en curso para la regulación de actividades de *fintech*

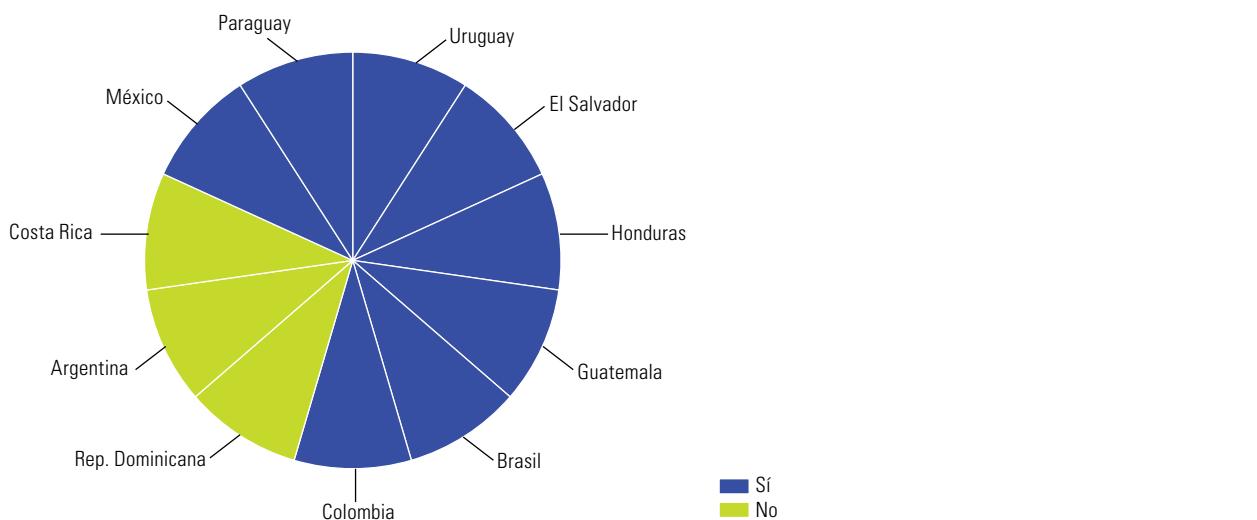
País	Norma	Institución que promueve la iniciativa	Principales cuerpos legales que serían o fueron modificados o adecuados por las normativas
Paraguay	Entidades de medios de pagos electrónicos (EMPE), billeteras electrónicas	Banco Central del Paraguay y Comisión Nacional de Valores (CNV)	Ley del Mercado de Valores y proyecto de ley de financiamiento colectivo
Uruguay	Ley de Inclusión Financiera (núm. 19.210)	Banco Central de Uruguay y Ministerio de Economía y Finanzas	La circular núm. 2198 modificó la recopilación de normas del sistema de pagos del Banco Central del Uruguay. El proyecto de normativa sobre préstamos entre pares modificará la recopilación de normas de regulación y control del sistema financiero de la Superintendencia de Servicios Financieros del Banco Central del Uruguay.
El Salvador	Normativa para regular el dinero electrónico	Banco Central de Reserva de El Salvador	Ley para Facilitar la Inclusión Financiera (decreto legislativo núm. 72)
Honduras	Regulación sobre dinero electrónico	Comisión Nacional de Bancos y Seguros (CNBS)	Ley de Sistemas de Pago y Liquidación de Valores. Se crearon las Normas para la Supervisión de las Instituciones no Bancarias que Brindan Servicios de Pago Utilizando Dinero Electrónico.
Guatemala	Emisión de ley para la tecnología financiera digital	Superintendencia de Bancos y otra(s)	Ley de Bancos y Grupos Financieros y reglamentaciones
Brasil	Ley núm. 12.685 de 2013; resolución del Banco Central núm. 4282 de 2013; circulares del Banco Central núm. 3680/2013, 3681/2013, 3682/2013 y 3683/2013 ^a	Banco Central del Brasil, Ministerio de Hacienda, Comisión de Valores Mobiliarios (CVM), Comisión de Mercado de Valores y Superintendencia de Seguros Privados (SUSEP)	Ley núm. 12.865 de 2013 (esquemas de pago); Ley núm. 10.214 de 2001 (registros); resolución del Consejo Nacional de Seguros Privados (CNSP) núm. 294 de 2013 (utilización de medios remotos en las operaciones relacionadas con los planes de seguro y de previsión complementaria abierta)
Colombia	Proyecto de decreto sobre administración de plataformas electrónicas de financiación colectiva	Ministerio de Hacienda y Crédito Público	Decreto núm. 2555 de 2010 por el cual se recogen y reexpiden las normas en materia del sector financiero, asegurador y del mercado de valores y se dictan otras disposiciones
México	Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera	Banco de México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Comisión Nacional Bancaria y de Valores	Ley de Instituciones de Crédito, Ley del Mercado de Valores, Ley General de Organizaciones y Actividades Auxiliares del Crédito, Ley para la Transparencia y Ordenamiento de los Servicios Financieros, Ley para Regular las Sociedades de Información Crediticia, Ley de Protección y Defensa al Usuario de Servicios Financieros, Ley para Regular las Agrupaciones Financieras, Ley de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores, Ley Federal para la Prevención e Identificación de Operaciones con Recursos de Procedencia Ilícita

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

^a No son específicas de *fintech*.

Gráfico V.3

América Latina y el Caribe (11 países): países donde se ha regulado o se espera regular las actividades de *fintech*



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base del cuestionario sobre el estado del marco normativo y regulatorio de la industria de *fintech*.

Cuadro V.6

América Latina y el Caribe (11 países): segmentos de mercado regulados o que se espera regular en materia de *fintech*

Segmento	Paraguay	Uruguay	El Salvador	Honduras	Brasil	México	Guatemala	Colombia	Costa Rica	Argentina	República Dominicana
Autenticación, custodia y fe del valor											
Pagos y transferencias											
Instrumentos de intercambio											
Crédito alternativo o colectivo											
Inversión alternativa o colectiva											
Seguros y gestión del riesgo											
Auditoría y contabilidad											

■ No se han dictado nuevas regulaciones

■ Se espera que se dicten nuevas regulaciones dentro de los próximos tres años

■ Actualmente se encuentra en trámite legislativo o regulatorio

■ Se dictaron regulaciones en los últimos tres años

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base del cuestionario sobre el estado del marco normativo y regulatorio de la industria de *fintech*.

Nota: En el caso de México, cabe indicar que la encuesta se aplicó antes de la aprobación de la Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera.

3. Oportunidades y riesgos de las nuevas tecnologías financieras digitales

Entre los factores de riesgo, los países encuestados indican que el principal problema es la ciberseguridad (véase el cuadro V.7). Las pérdidas del sector financiero latinoamericano por deficiencias relacionadas con la ciberseguridad suman casi 1.000 millones de dólares anuales (BBVA, 2017). Sin embargo, en muchos países de la región, el concepto de ciberdelincuencia y su combate siguen estando ausentes de las normativas nacionales. Cabe advertir que las autoridades consultadas no prevén grandes riesgos en cuanto a liquidez, insolvencia o disruptiones en los flujos de fondos.

Respecto de las oportunidades, las autoridades consultadas tienen percepciones diversas, pero convergen en el alto potencial de la tecnología financiera digital (véase el cuadro V.8). Destacan la reducción en los costos de transacción y la mayor eficiencia en los sistemas de pago, así como la mejora en el acceso universal a los servicios financieros por parte de individuos y pymes, además del aumento de la competencia en el sector. En México, cerca del 46% de las empresas emergentes de *fintech* se concentran en el mercado de consumidores y pymes subbancarizados y no bancarizados, en tanto que en el Brasil esta cifra es del 28% (BID/Finnovista, 2017).

Cuadro V.7

América Latina y el Caribe (11 países): grado de riesgo de la industria de fintech

Factor de riesgo	Paraguay	Colombia	México	Guatemala	Uruguay	República Dominicana	Brasil	Costa Rica	El Salvador	Argentina	Honduras
Efectos externos que pueden amenazar la estabilidad de precios											
Malas proyecciones macroeconómicas											
Exceso o escasez de liquidez en el sector bancario											
Insolvencia bancaria											
Disrupciones en el flujo de fondos a nivel interbancario o minorista											
Error de evaluación de riesgo											
Ciberseguridad											
Favorecer actividades ilícitas y el lavado de dinero											

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).**Nota:** Los colores indican la intensidad del riesgo percibido; cuanto más oscuro es el color, mayor es el riesgo percibido.**Cuadro V.8**

América Latina y el Caribe (11 países): percepción de oportunidades generadas por las fintech

Motivo de oportunidad	Colombia	Argentina	República Dominicana	Honduras	Guatemala	México	Uruguay	Brasil	Paraguay	El Salvador	Costa Rica
Eficiencia en los sistemas de pagos y transferencias											
Reducción de los costos de transacción											
Movilización de un mayor volumen de información para evaluar mejor el riesgo crediticio											
Mejora de la gestión del riesgo crediticio a través de una red inteligente de contratos y garantías											
Mejora del acceso universal a los servicios financieros por parte de los consumidores y las pequeñas y medianas empresas (pymes)											
Mayor competencia y menor concentración del sector financiero											

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).**Nota:** Los colores indican el grado de oportunidad percibido; cuanto más oscuro es el color, mayor es el grado de oportunidad percibido.

E. Conclusiones

Las nuevas tecnologías financieras digitales reducen los costos de transacción y las asimetrías de información, disminuyen las barreras a la entrada e intensifican la competencia. De esta forma, se despliega un conjunto de nuevas empresas y servicios en distintos segmentos de la cadena de valor del sector financiero, con la oportunidad de atender a sectores no bancarizados, como las mipymes y las personas de menores recursos. Por otra parte, las empresas que emplean estas nuevas tecnologías están favoreciendo la innovación y fomentando actividades intensivas en conocimiento y tecnología.

Estos emprendimientos están en franca expansión en América Latina y el Caribe. Los segmentos que concentran la mayoría de estas iniciativas son los de medios de pago y las soluciones de financiamiento alternativo o colectivo. El Brasil y México son los principales mercados en el desarrollo de emprendimientos en estos segmentos.

Si bien no están exentas de incertidumbre y riesgos, la irrupción de empresas que emplean *fintech* puede generar las condiciones para el desarrollo de un sistema financiero más inclusivo y transparente. Tal como ocurrió con el desarrollo de otros sectores regulados, en lugar de imponer restricciones a las nuevas empresas, es posible producir un ecosistema más abierto, que genere condiciones para impulsar la innovación. La mayoría de estas empresas prestan servicios especializados dentro de su cadena de valor, lo que permite a los reguladores experimentar con distintos modelos, sin la complejidad ni el impacto de tener que supervisar instituciones que operan en toda la cadena de valor y son críticas para la estabilidad financiera.

La promoción del uso de tecnologías regulatorias y la mejora de la calidad de la información y el diálogo con las empresas, creando incentivos que faciliten la interacción y su monitoreo, son algunas acciones que pueden adoptarse en el ámbito regulatorio sobre las empresas que emplean tecnologías financieras digitales. Promover la cooperación internacional también es importante en un ambiente globalmente interconectado.

Al igual que en el resto del mundo, la regulación de empresas que emplean tecnologías financieras digitales en la región es incipiente. La mayoría de los países encuestados aún no cuenta con regulación en muchos de los segmentos. México se destaca por ser el que presenta un mayor grado de desarrollo regulatorio. Los otros países líderes en la región —el Brasil y Colombia— están en etapas de desarrollo, aprobación y entrada en vigor de nuevas normativas. Los segmentos a los que prestan mayor atención los reguladores son los medios de pago y las transferencias. En cuanto a los riesgos, la mayor preocupación son los aspectos relacionados con la ciberseguridad y las actividades ilícitas, incluido el lavado de dinero.

Bibliografía

- Aggarwal, R. y P. Stein (2016), "The complex regulatory landscape for fintech: an uncertain future for small and medium-sized enterprise lending", *White Paper*, Ginebra, Foro Económico Mundial, agosto [en línea] http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Complex_Regulatory_Landscape_for_Fintech_290816.pdf.
- Arner, D., J. Barberis y R. Buckley (2016), "The evolution of fintech: a new post-crisis paradigm?", *University of Hong Kong Faculty of Law Research Paper*, Nº 2015/047, Kowloon Tong, Universidad de Hong Kong, octubre.
- BBVA (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria) (2017), "La ciberdelincuencia, una amenaza para la banca de América Latina", 4 de septiembre [en línea] <https://www.bbva.com/es/ciberdelincuencia-amenaza-banca-america-latina/>.
- BID/Finnovista (Banco Interamericano de Desarrollo/Finnovista) (2017), *Fintech: innovaciones que no sabías que eran de América Latina y el Caribe*, Washington, D.C., mayo.
- Bettinger, A. (1972), "Fintech: a series of 40 time shared models used at Manufacturers Hanover Trust Company", *Interfaces*, vol. 2, Nº 4, Catonsville, Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), agosto.
- Burgueño, C. (2017), "Decisión definitiva: no habrá regulación del BCRA para las fintech", Ámbito Financiero, Buenos Aires, 20 de octubre [en línea] <http://www.ambito.com/900920-decision-definitiva-no-habra-regulacion-del-bcra-para-las-fintech>.
- CB Insights (2018), *Fintech Trends to Watch in 2018*, Nueva York [en línea] <https://www.cbinsights.com/research/report/fintech-trends-2018/>.

- CEF (Consejo de Estabilidad Financiera) (2017), "Financial stability implications from fintech: supervisory and regulatory issues that merit authorities' attention", Basilea, junio [en línea] <http://www.fsb.org/wp-content/uploads/R270617.pdf>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2015), *Espacios de diálogo y cooperación productiva: el rol de las pymes* (LC/L.4020), Hamburgo, Fundación UE-ALC, mayo.
- Christensen, C., M. Raynor y R. McDonald (2015), "What is disruptive innovation?". *Harvard Business Review*, Watertown, Harvard Business Publishing, diciembre [en línea] <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>.
- Citigroup (2017), *Digital Disruption Revisited: What Fintech VC Investments Tell us About a Changing Industry*, Nueva York, enero.
- CoinMarketCap (2018), "Cryptocurrency market capitalizations", 28 de febrero [en línea] <https://coinmarketcap.com/>.
- Cordero, C. (2017), "Las Fintech reconfiguran el mapa del sector informático", *El Financiero*, San José, 9 de diciembre [en línea] <https://www.pressreader.com/costa-rica/el-financiero-costa-rica/20171209/textview>.
- Deloitte (2015), "2016 Financial services M&A predictions: rising to the challenge", Londres [en línea] <https://www2.deloitte.com/uk/en/pages/financial-services/articles/2016-financial-services-ma-predictions.html>.
- Dorfleitner, G. y otros (2017), "Definition of fintech and description of the fintech industry", *Fintech in Germany*, Berlín, Springer.
- EY (2017), "EY Fintech Adoption Index 2017: key findings", Nueva York [en línea] [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-fintech-key-findings-2017/\\$FILE/ey-fintech-key-findings-2017.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-fintech-key-findings-2017/$FILE/ey-fintech-key-findings-2017.pdf).
- Ferraro, C. (comp.) (2011). *Eliminando barreras: el financiamiento a las pymes en América Latina* (LC/R.2179), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), noviembre.
- Finnovista (2017), "El ecosistema fintech de México crece un 50% en menos de un año y releva a Brasil como líder fintech en América Latina", Ciudad de México, 6 de julio [en línea] <https://www.finnovista.com/actualizacion-fintech-radar-mexico>.
- Foro Económico Mundial (2017), "Beyond fintech: a pragmatic assessment of disruptive potential in financial services", Ginebra, agosto [en línea] http://www3.weforum.org/docs/Beyond_Fintech_-_A_Pragmatic_Assessment_of_Disruptive_Potential_in_Financial_Services.pdf.
- Hoder, F. y otros (2016), "La revolución fintech: cómo las innovaciones digitales están impulsando el financiamiento para las mipyme en América Latina y el Caribe", Nueva York, Oliver Wyman/Corporación Interamericana de Inversiones (CII), septiembre [en línea] <http://www.ebankingnews.com/wp-content/uploads/2017/02/La-Revoluci%C3%B3n-B3n-Fintech.pdf>.
- Hsieh, C. (2014), "Crowdfunding: some basics", 9 de septiembre [en línea] http://www.chsieh.com/uploads/4/4/7/9/4479813_crowdfunding__some__basics.pdf.
- IIMV (Instituto Iberoamericano de Mercados de Valores) (2017), *La financiación de las micro, pequeñas y medianas empresas a través de los mercados de capitales en Iberoamérica*, Madrid.
- KPMG (2017), *The Pulse of Fintech Q3 2017: Global Analysis of Investment in Fintech*, Amstelveen, noviembre [en línea] <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/11/pulse-of-Fintech-q3-17.pdf>.
- Magnuson, W. (2017), "Regulating fintech", *Texas A&M University School of Law Legal Studies Research Paper*, Nº 17-55, Fort Worth, Universidad Texas A&M.
- Mahoney, N., A. Veiga y G. Weyl (2014), "Competition policy in selection markets", *CPI Antitrust Chronicle*, Competition Policy International (CPI), septiembre.
- McKinsey Global Institute (2015), *The Fight for the Customer: McKinsey Global Banking Annual Review 2015*, Nueva York, septiembre.
- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (2017), "Technology and innovation in the insurance sector", París [en línea] <https://www.oecd.org/finance/Technology-and-innovation-in-the-insurance-sector.pdf>.
- OCDE/CEPAL (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Comisión Económica para América Latina y el Caribe), Perspectivas económicas de América Latina 2013: políticas de pymes para el cambio estructural (LC/G.2545), París, enero.
- OICV (Organización Internacional de Comisiones de Valores) (2017), "IOSCO research report on financial technologies (fintech)", Madrid, febrero [en línea] <https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD554.pdf>.
- Philippon, T. (2017), "The fintech opportunity", *BIS Working Paper*, Nº 655, Basilea, Banco de Pagos Internacionales (BPI), agosto.
- Rralthatha, R. y J. Sanín (2017), "Dinero móvil en Latinoamérica y el Caribe: un lustro de crecimiento", Londres, GSM Association, 9 de noviembre [en línea] <https://www.gsma.com/latinamerica/es/dinero-movil-en-latinoamerica-y-el-caribe-un-lustro-de-crecimiento>.
- Schueffel, P. (2016), "Taming the beast: a scientific definition of fintech", *Journal of Innovation Management*, vol. 4, Nº 4, Porto, Universidad de Porto.
- Tanguy, C. y otros (2017), "Insurtech: the threat that inspires", McKinsey Global Institute, marzo [en línea] <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/insurtech-the-threat-that-inspires#0>.
- Tapscott, D. y A. Tapscott (2016), *Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*, Nueva York, Penguin Random House, mayo.
- Ventura, A. y otros (2015), "The future of fintech: a paradigm shift in small business finance", Ginebra, Foro Económico Mundial, octubre [en línea] http://www3.weforum.org/docs/IP/2015/FS/GAC15_The_Future_of_FinTech_Paradigm_Shift_Small_Business_Finance_report_2015.pdf.
- Zetzsche, D. y otros (2017), "From fintech to techfin: the regulatory challenges of data-driven finance", *EBI Working Paper series*, Nº 6, Frankfurt, European Banking Institute.

Anexo V.A1

Principales asociaciones de empresas de *fintech* en América Latina

Asociación de Plataformas de Fondeo Colectivo (AFICO) (México)

Fondify (véase [en línea] <https://fondify.mx/>)

HipGive (véase [en línea] <https://hipgive.org/>)

Donadora (véase [en línea] <https://donadora.mx/>)

Asociación Fintech México (México)

Afluenta (véase [en línea] <https://www.afluenta.com/>)

Alibre (véase [en línea] <https://www.alibre.io/>)

Axend (véase [en línea] <https://axend.co/>)

Kubo Financiero (véase [en línea] <http://www.kubofinanciero.com/Kubo/Portal/index.xhtml>)

Mi Cochinito (véase [en línea] <https://www.micochinito.com/>)

Olympian Capital (véase [en línea] <https://ocapital.mx/>)

Propeler (véase [en línea] <https://www.propeler.mx/>)

Zigo Capital (véase [en línea] <https://zigocapital.com/>)

Asociación Brasileña de Equity Crowdfunding (Brasil)

Kria (véase [en línea] <https://www.kria.vc/>)

EqSeed (véase [en línea] <https://eqseed.com/>)

Kickante (véase [en línea] <https://www.kickante.com.br/>)

URBE.ME (véase [en línea] <https://urbe.me/>)

StartMeUp (véase [en línea] <https://www.startmeup.com.br/>)

Asociación Brasileña de Fintechs (ABFINTECHS) (Brasil)

Asociación Colombiana de Empresas de Tecnología e Innovación Financiera (Colombia Fintech) (Colombia)

Afluenta (véase [en línea] <https://www.afluenta.com/>)

ArmaTuVaca (véase [en línea] <https://armatuvaca.com/>)

Broota (véase [en línea] <https://broota.com/>)

HomeParte (véase [en línea] <https://www.homeparte.com/es>)

Ideame (véase [en línea] <https://www.idea.me/>)

Kuanto (véase [en línea] <https://www.kuanto.co/>)

La Vaquinha (véase [en línea] <https://www.lavaquinha.com/>)

Mesfix (véase [en línea] <https://www.mesfix.com/>)

Uprop (véase [en línea] <https://www.uprop.co/>)

Empresas de financiamiento colectivo registradas en Chile

Broota

Facturedo

Ideame

RedCapital

Becual

Let's Fand

Soho

Cumplio (patrocinada por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO))

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).



CAPÍTULO VI

Internet industrial para la manufactura avanzada

Introducción

- A. Las bases tecnológicas
- B. La cadena de valor
- C. La manufactura avanzada
- D. El impacto en la actividad manufacturera
- E. La convergencia de la manufactura y los servicios
- F. Conclusiones

Bibliografía

Anexo VI.A1

Introducción¹

El desarrollo de tecnologías digitales disruptivas ha generado una transición desde la Internet del consumo hacia el ecosistema de la manufactura avanzada, donde la nueva frontera de las aplicaciones ha pasado de los dispositivos individuales a los sistemas integrados de múltiples sensores interconectados. Esta nueva fase de la economía digital es consecuencia de la coevolución de la Internet de las cosas y las nuevas redes de conectividad, la computación en la nube, la analítica de grandes datos, 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 —de infraestructura, tecnológicas, financieras y de gestión— que dificultan la incorporación de las nuevas tecnologías. Para remover estos obstáculos se requieren políticas públicas que incentiven la inversión tecnológica en las empresas, el acceso a proveedores tecnológicos, la disponibilidad de estos últimos y la formación de recursos humanos especializados.

Esta revolución tecnológica ocurre en medio de un creciente debate y descontento por la globalización económica. Por una parte, hay quienes pronostican una era de estancamiento secular de las economías, una creciente inequidad en cuanto a los beneficios de la globalización y la sustitución de puestos de trabajo por las nuevas tecnologías de automatización. Desde otra perspectiva, se sostiene que la innovación digital, mediante la destrucción creadora, seguirá siendo una fuente de crecimiento como lo han sido las tecnologías manufactureras desde la revolución industrial.

La experiencia internacional muestra que los países líderes están aprovechando las oportunidades que ofrece la manufactura avanzada mediante la introducción de reformas cuyo foco es la transformación productiva hacia una estructura de mayor productividad, sofisticación y diversidad. Para ello, se han implementado políticas industriales guiadas por misión, que van más allá del enfoque de la teoría de las fallas de mercado. La transformación digital de la manufactura es un proceso complejo y dinámico, que requiere de una combinación de tecnologías de hardware, software, redes, almacenamiento de datos, analítica, y tecnologías cognitivas e inteligencia artificial. Esta complejidad ha llevado al desarrollo de nuevas plataformas tecnológicas en las que se necesitan nuevas modalidades de colaboración entre las empresas, las industrias y el sector público.

En este capítulo, se presenta un marco conceptual para analizar la Internet industrial y sus implicancias sobre la manufactura avanzada, en particular, sobre el proceso de convergencia de esta última con los servicios².

A. Las bases tecnológicas

La Internet industrial se organiza en torno a tres pilares tecnológicos: redes de conectividad, plataformas transversales que abarcan varias industrias (*cross industry*) y especialización vertical, donde convergen 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 VI.1). Esta densidad en la implementación y el uso de nuevas tecnologías lleva a que surjan retos de elevada complejidad para las empresas y las organizaciones al gestionar el seguimiento de las actividades que tienen lugar en el ecosistema de la Internet industrial.

¹ Este capítulo fue elaborado por Mario Castillo y Nicolo Gligo, ambos de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL.

² Véase un análisis más detallado sobre este tema en Castillo (2017). En el anexo VI.A1 se enumeran los sectores que se incluyen en el concepto de manufactura avanzada.

Cuadro VI.1

Los tres pilares de la Internet industrial

	Madura	Avanzada	Emergente
Conectividad	Banda ancha fija y móvil 3G y 4G	Conectividad inalámbrica de corto a mediano alcance: wifi, Bluetooth, redes malladas, Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT) y redes de área amplia y baja potencia (LPWAN)	Redes de nueva generación (5G)
Plataformas transversales	Almacenamiento de datos, computación en la nube y sensores comunes (<i>common sensors</i>)	Internet de las cosas, comunicación máquina a máquina (M2M), grandes datos, dispositivos inteligentes y plataformas de seguridad	Computación de alto rendimiento y plataformas de Internet de las cosas
Especialización vertical	Sensores no comunes (<i>uncommon sensors</i>) y manufactura aditiva (3D)	Sistemas ciberfísicos, plataformas de redes, drones y vehículos autónomos	Visualización, robots e inteligencia artificial

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de la metodología Gartner Hype Cycle.

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 y la Internet industrial. En las últimas cinco décadas ha habido tres fases principales de convergencia, entre las que se destaca la más reciente, en que los desarrollos asociados a la Internet de las cosas, la computación en la nube, la analítica de grandes datos y la robotización han permitido que surja un nuevo modelo de fábrica que ha cambiado los paradigmas de los procesos de producción y organización, y los modelos de negocios, principalmente en el sector industrial.

La automatización industrial y su convergencia con las tecnologías de la información no es un fenómeno nuevo, sino que se ha dado en etapas sucesivas y ha permitido mejorar las tecnologías de operación. Al principio, en las décadas de 1960 y 1970, permitió mejorarlas a escala de las actividades individuales; luego, a partir de los años ochenta, a nivel de coordinación de actividades, y, recientemente, a nivel del ciclo completo del producto (véase el cuadro VI.2).

Cuadro VI.2

Evolución de las tecnologías de automatización

	Operaciones e ingeniería	Procesos de negocios y proveedores	Período de desarrollo
Actividades individuales a nivel de máquina	Control numérico por computadora (CNC) Diseño asistido por computadora (CAD)	Planificación de los recursos de manufactura	1960 y 1970
Coordinación de actividades a nivel de fábrica, proveedores y clientes	Manufactura integrada por computadora (CIM) Manufactura distribuida Simulación digital Modelado digital en 3D	Gestión de las relaciones con los clientes (CRM) Gestión de la cadena de suministro Planificación de los recursos institucionales (ERP)	1980 y 1990
Ciclo completo del producto a nivel de la cadena de valor	Empresa de manufactura virtual Modelado, simulación y análisis Computación remota de alto rendimiento	CRM en la nube ERP en la nube	De 2010 a la actualidad

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

La irrupción de este nuevo modelo tecnológico, además de mejorar el control de los procesos y la flexibilidad en cuanto a la 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 de construir redes de optimización inteligente, sino que se abre la posibilidad, por primera vez en la historia, de construir sistemas de aprendizaje autónomo. En el cuadro VI.3, se presenta la evolución de la fábrica digital en los ámbitos de la automatización, la conectividad y la interacción humana. A partir de la situación actual, que se caracteriza por procesos de automatización simples y repetitivos, además de una robotización aislada, se pasará por procesos más complejos y flexibles en los que habrá una robotización colaborativa, hasta llegar a procesos inteligentes y adaptativos y, principalmente, a los robots autónomos.

Cuadro VI.3

Evolución de la fábrica digital

	En la actualidad	En cinco años	En diez años
Conectividad	Redes locales	Redes integradas	Hiperconectividad
Automatización	Simple y repetitiva	Compleja y flexible	Inteligente y adaptativa
Interacción humana	Robot "enjaulado" (<i>caged robot</i>)	Robots colaborativos	Máquinas que aprenden

Fuente: ABB Group.

B. La cadena de valor

La cadena de valor de la Internet industrial se diferencia en dos factores de la que se observa en la Internet del consumo. Por un lado, requiere de un alto grado de coordinación e interoperabilidad entre sus componentes; por el otro, presenta menores barreras al aprendizaje, y a la entrada y el desarrollo de productos y servicios.

En la medida en que se establezcan nuevos estándares de comunicación, se podrá abordar el ciclo completo de cualquier producto o servicio: desde el desarrollo y la ingeniería, pasando por la manufactura, hasta el uso, el mantenimiento y el reciclaje. Esta cadena de valor tiene una mayor fragmentación y requiere un nivel más elevado de coordinación entre las empresas que integran sus componentes. Por ejemplo, las empresas de tecnologías de redes y servicios de computación en la nube necesitan de los productores de objetos (dispositivos con sensores) tanto como estos requieren de ellas para desarrollar de forma conjunta la industria de las aplicaciones de software y hardware.

Por otra parte, la digitalización ha erosionado las barreras que obstaculizan el aprendizaje y la entrada de nuevos actores, y ha permitido abrir los mercados a nuevos fabricantes, gracias a los menores requerimientos de infraestructura y recursos humanos. Los beneficios asociados a los nuevos modelos de servicios digitales —infraestructura, hardware y software como servicios— han permitido crear no solo empresas de software, sino también de hardware, y ello ha reducido la inversión y el capital de trabajo necesarios. En particular, los modelos de pago por uso permiten acceder a capacidades computacionales; los mercados de profesionales que trabajan por cuenta propia y de consultores especializados permiten acceder a una reserva de programadores e ingenieros, y los espacios de cotrabajo ofrecen modelos alternativos basados en 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 (Hagel y otros, 2015).

La cadena de valor de la Internet industrial tiene cuatro segmentos (véase el diagrama VI.1): dispositivos (partes y sistemas operativos), comunicaciones, plataformas de aplicaciones (administración de comunicaciones, datos, identidad y seguridad), y desarrollo de productos, integración y distribución. El primer segmento corresponde a la manufactura electrónica de dispositivos que tienen sensores para capturar datos, es decir, a la producción de sensores, nodos, controladores y otros artefactos que permiten obtener datos. El segundo es el de las redes de comunicación celular e inalámbrica, que corresponde al ámbito de los circuitos integrados y comprende microprocesadores, chips y protocolos que se usan para comunicarse 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 monitorear sistemas, la analítica de datos y utilizar protocolos de seguridad. Finalmente, el cuarto segmento corresponde a la integración de aplicaciones en industrias verticales, es decir, al diseño de aplicaciones, servicios y mantenimiento remotos, operados con interfaces de computación en la nube e interfaces para programas de aplicación y la comercialización y distribución final de las aplicaciones (API) (DestinHaus, 2015).

Diagrama VI.1

Cadena de valor de la Internet industrial

Partes específicas y genéricas	Sistemas operativos embebidos y Software	Comunicaciones	Comunicaciones y administración de dispositivos	Administración de datos	Seguridad	Identidad	Desarrollo de productos e integración	Distribución y ventas
Partes personalizadas, usualmente mercantilizadas: envoltorios, sensores y baterías. Partes genéricas reutilizables en muchos dispositivos	Software para incluir en los dispositivos, ya sea genérico o ad hoc	Fija Celular (2G/3G) Redes de área amplia y baja potencia (LPWAN), satélites u otras tecnologías de redes de área amplia (WAN)	Administración de comunicaciones y dispositivos Inalámbrica de corto y mediano alcance: Wifi, Bluetooth y malla (<i>mesh</i>)	Adquisición de datos, manejo, almacenamiento, procesamiento y visualización; integración de capacidades con software externo y otras fuentes de datos	Seguridad punto a punto, pero mayoritariamente hecha en la nube	La administración de identidad también es importante, sobre todo en el caso de las aplicaciones para el consumidor	Integración requerida para conectar servicios de Internet Industrial con el resto de las aplicaciones	Distribución y comercialización de los productos y soporte técnico

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de DestinHaus, "The Internet of Things value chain", Rancho Santa Margarita, 2015, inédito.

A diferencia de la cadena de valor de la Internet del consumo, en la Internet industrial hay un mayor equilibrio entre las fuerzas de concentración y desconcentración económica. 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, a la creación de mercados de nicho en el desarrollo de productos y a la integración en industrias verticales. En una situación intermedia de concentración se encuentra la manufactura electrónica de dispositivos, donde se prevé una fuerte competencia y se destacan los dispositivos inteligentes, los sistemas de comunicación y el control de objetos.

Alrededor del 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. Algunos ejemplos de ello son los casos de Nest —adquirida recientemente por Google— en el área de los termostatos; Philips, en el área de las aplicaciones Bluetooth, wifi y de los sensores de iluminación, y ThinFilm Electronics ASA, 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 prevalecerán en la industria. Considerando la multiplicidad de dispositivos con distintos sistemas que será necesario conectar, los proveedores de redes deberán desarrollar soluciones de comunicación —basadas en sistemas como Bluetooth y wifi— que generen valor en la red y en los eslabones ulteriores de la cadena (*downstream*)³. En este contexto, las redes dominantes serán las que logren proveer los sistemas más simples de operar y garanticen la seguridad y la privacidad de los datos. Una situación similar ocurre con las empresas que desarrollan tecnologías de control único de diversos dispositivos.

³ Un ejemplo de ello es lo que hace la empresa Cisco Systems, que utiliza servicios basados en la computación en la nube (*cloud computing*) para conectar los componentes de la cadena correspondientes a diversos sectores —transporte, infraestructura, salud— y, simultáneamente, utiliza redes en la nube (*cloud networks*) para generar valor en otros componentes de la cadena.

C. La manufactura avanzada

La manufactura avanzada se define como el conjunto de actividades manufactureras que llevan a cabo 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. Por medio de la manufactura avanzada se instala un nuevo modelo de fábrica, se generan empleos de alta productividad, se promueve la innovación y se contribuye al crecimiento sostenible (Muro y otros, 2015). A la manufactura avanzada se asocian los servicios avanzados, que se definen como las actividades de software y telecomunicaciones que desempeñan las empresas líderes que interactúan con los sectores de manufactura avanzada, en particular con las actividades de automatización industrial.

Algunos analistas de la industria, como McKinsey Global Institute, Gartner e International Data Corporation (IDC), han destacado la importancia de la Internet industrial y la manufactura avanzada, gestionada por algoritmos, dispositivos inteligentes y robots⁴. En todos los pronósticos de estos analistas se destacan los cambios radicales en el ecosistema digital, resultado de la convergencia de diversas tecnologías digitales y de operación industrial, en que las personas, los procesos y las máquinas establecen nuevas relaciones de comunicación y coordinación (Manyika y otros, 2012).

Los modelos de fabricación evolucionan y pasan de consistir en procesos de automatización especializada a nivel de fábrica y una robotización aislada y estandarizada, a comprender procesos más complejos y autónomos que abarcan toda la cadena de valor de los productos, con una robotización conectada y colaborativa, y nuevos protocolos de interacción entre personas y máquinas, y entre máquinas y máquinas (ABB Group, 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 que fomentan la competitividad industrial. Ejemplo de ello son las alianzas público-privadas y, en algunos casos, las políticas industriales que promueven la infraestructura, el desarrollo de capacidades, los bancos de pruebas y generación de estándares (PE, 2016).

El impulso de la manufactura avanzada se aceleró en 2016. Las encuestas realizadas ese año muestran que las empresas comenzaron a tomar decisiones de inversión en este campo. Entre 2013 y 2015, alrededor del 75% de las empresas estaba explorando el uso de la Internet industrial⁵, pero solo el 15% había implementado medidas específicas⁶. Sin embargo, a partir de 2016, más del 30% de las empresas decidieron invertir en esas tecnologías en el siguiente bienio (Gates, Mayor y Gampenrieder, 2016).

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

D. El impacto en la actividad manufacturera

Las principales repercusiones de la Internet industrial en la fábrica provendrán del desarrollo de las tecnologías de realidad virtual, robótica, inteligencia artificial y aprendizaje autónomo. Estas tecnologías van a desempeñar un papel fundamental en la constitución de las fábricas digitales, en un contexto de acelerada transición de las funciones corporativas digitales de las fábricas a la arquitectura en la nube.

⁴ El avance y la reducción del costo de los microprocesadores, las redes wifi, la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), la banda ancha y los sensores abren nuevas posibilidades para que cada máquina, proceso y producto esté conectado a Internet, en la denominada Internet de las cosas o Internet industrial. Esta tecnología es útil para todo tipo de actividades, tanto en las industrias verticales —manufactura y otros sectores— como en la gestión de ecosistemas complejos —ciudades y medio ambiente—.

⁵ Encuesta realizada por la Economist Intelligence Unit (EIU) entre 779 ejecutivos de empresas de todo el mundo.

⁶ Sobre la base de 433 encuestas a ejecutivos de empresas en Alemania, China, los Estados Unidos, Francia y el Reino Unido.

En este proceso se enfrentan diversas dificultades, entre las que se destaca la complejidad de la interacción entre las aplicaciones de la Internet de las cosas y las plataformas en la nube, así como los problemas de latencia en las redes de comunicación y la necesidad de disponer de mecanismos de seguridad que se apliquen a los procesos de fabricación. Entre las áreas de desarrollo prioritarias en las cadenas de producción de manufactura, destacan el concepto de diseño centrado en el usuario (*user-centric*) de las plantas de fabricación, los modelos de arquitectura descentralizada de computación en la niebla (*fog computing*) y la relación entre los procesos productivos y logísticos (O'Brien y Avery, 2016). En el entorno de la fábrica digital, el concepto de diseño centrado en el usuario se define como el conjunto de tecnologías asociadas a la elaboración de modelos del comportamiento y las contingencias de las cadenas de producción. Dichas tecnologías corresponden a herramientas de simulación, modelos de representación y cálculo que permiten evaluar la capacidad de los sistemas a la hora de incrementar la producción, así como la respuesta de estos ante situaciones inesperadas o cambios operativos (Schneider Electric).

La computación en la niebla aplicada a la fabricación es otro concepto innovador asociado al uso de sistemas de procesamiento masivo y analítico que requieren de plazos de respuesta cada vez más breves. Cumplir con esos requerimientos es difícil con los actuales modelos de Internet de las cosas, que están dotados de circuitos centralizados que se apoyan en modelos de gestión basados en la nube. No obstante, los modelos con arquitectura descentralizada que posee computación en la niebla son capaces de llevar recursos y servicios computacionales a los extremos de la infraestructura, lo que permite construir un eslabón efectivo de continuidad entre la fuente de datos y la nube (OpenFog Consortium).

Además de los desafíos de la automatización y la robotización de las fábricas, en las nuevas fábricas inteligentes es necesario establecer relaciones entre los procesos logísticos y las máquinas, mediante la creación de nuevos modelos y protocolos de comunicación a escala interna y, además, mediante la conexión y el suministro de información de valor de la cadena de suministro hacia el proveedor y hacia el cliente. En este caso, es necesario que haya un diálogo de máquina a máquina (M2M) entre todos los componentes que integran la cadena de producción.

Las estimaciones del valor de mercado de la manufactura avanzada y su impacto económico son todavía inciertas, por lo que es necesario tomar las cifras siguientes con precaución. Las predicciones sobre la cantidad de dispositivos que estarán conectados hacia 2020 son disímiles, pero en todas ellas se apunta a números altos: Gartner calculó 20.000 millones de dispositivos; IDC, 30.000 millones; Cisco Systems, 50.000 millones, y Morgan Stanley, 75.000 millones (Evans, 2011). Las regiones más importantes en cuanto a la Internet industrial, medidas según la generación de ingresos, son las siguientes: Asia-Pacífico, que captura más del 50%; América del Norte, el 26%, y Europa Occidental, más del 15% (Lund y otros, 2014).

En 2016, se estimaba que había alrededor de 6.400 millones de cosas (*things*)⁷ conectados (Gartner, 2015), el 30% más que en 2015⁸. Los sectores en los que hay más dispositivos conectados son el automotriz, los hogares inteligentes (*smart home*), los dispositivos para la salud (*fitness devices*) y el consumo. Sin embargo, los gastos más elevados en esta tecnología se registran en las aplicaciones industriales —la manufactura avanzada—. Se estima que el gasto en las aplicaciones de consumo habría alcanzado los 546.000 millones de dólares en 2016, mientras que, en la industria —a nivel transversal y de especialización vertical— habría alcanzado los 868.000 millones de dólares (véase el cuadro VI.4).

La inversión en este ámbito ha mantenido su dinamismo, incluso en la fase en que la economía internacional ha sido menos dinámica. En 2015, los niveles de inversión aumentaron respecto del año previo y alcanzaron los 1,5 billones de dólares en infraestructura de telecomunicaciones, 700.000 millones en Internet de las cosas y 100.000 millones en centros de datos (Huawei Technologies, 2016)⁹. Ese mismo año, según Gartner y la Federación Internacional de Robótica, los envíos de impresoras 3D alcanzaron las 200.000 unidades, el doble de los pedidos del año anterior, mientras que las ventas de robots superaron las 180.000 unidades, lo que representó un crecimiento superior al 10%. Las principales industrias demandantes fueron la automotriz, la de los semiconductores, la electrónica y la agrícola.

⁷ El término “cosa” se refiere a cualquier objeto físico que tenga un dispositivo con su propia dirección IP y que pueda conectarse a la red, además de enviar y recibir información a través de ella.

⁸ Manyika y otros (2015) estiman que existen más de 9.000 millones de dispositivos conectados, entre los que se cuentan los computadores y los teléfonos inteligentes.

⁹ Esto significa un crecimiento anual del 1,3% en infraestructura de telecomunicaciones, el 14,3% en Internet de las cosas y el 1,9% en centros de datos.

Cuadro VI.4

Cosas conectadas y gastos en Internet industrial, 2016 y 2020

	Cosas conectadas (en millones de unidades)		Gastos en Internet industrial (en miles de millones de dólares)	
	2016	2020	2016	2020
De consumo	4 024	13 509	546	1 534
Transversales	1 092	4 408	201	566
De especialización vertical	1 276	2 880	667	911
Total	6 392	20 797	1 414	3 010

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Gartner, "Gartner says 6.4 billion connected 'things' will be in use in 2016, up 30 percent from 2015", Stamford, 10 de noviembre de 2015 [en línea] <https://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>.

Se estima que el impacto potencial anual de la Internet industrial hacia 2025 será, por lo menos, de 4 billones de dólares. Entre sus aplicaciones se destacan las de la manufactura avanzada (1,2 billones de dólares), la gestión de ciudades (900.000 millones de dólares), el transporte y la logística (500.000 millones de dólares), el comercio minorista (400.000 millones de dólares) y la industria basada en recursos naturales (200.000 millones de dólares). La mayor parte (el 62%) del valor económico de estas aplicaciones se localizará en los países avanzados, sin embargo, existen áreas de aplicación que tienen mayor potencial en las economías en desarrollo, como el procesamiento de recursos naturales, el transporte y la logística, y la industria manufacturera (Manyika y otros, 2015).

No obstante, los antecedentes a nivel de las empresas muestran que el alcance de las aplicaciones de manufactura avanzada todavía es limitado y que su implementación presenta debilidades, en particular en materia de recursos humanos. Una encuesta realizada por Strategy Analytics entre nueve industrias de los Estados Unidos, el 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 los Estados Unidos, más del 70% de los desarrollos involucra menos de 500 dispositivos. Además, el 66% de las empresas gasta menos de 100.000 dólares en proyectos en esta área (Strategy Analytics, 2017).

En una encuesta que se llevó a cabo entre 500 empresas internacionales, se constataron deficiencias de los recursos humanos a nivel corporativo y técnico: el 76% de los encuestados declaró que en sus empresas había déficit de personal corporativo con habilidades tecnológicas; el 72% detectó falta de personal gerencial con experiencia en implementación de tecnología, y el 80% carecía de habilidades en el desarrollo de soluciones. Las áreas críticas de especialización eran las de seguridad y analítica de grandes datos.

Para aumentar el impacto de esos cambios, se requiere mejorar las redes de comunicación y las inversiones en plataformas y aplicaciones verticales. Las áreas técnicas en las que es necesario avanzar son la aplicación de la versión 6 del protocolo de Internet (IPv6), la sostenibilidad de los sensores, los acuerdos en cuanto a los estándares de interconexión y la seguridad de estas aplicaciones. En particular, la interoperabilidad es un factor crítico, y la alternativa más plausible es la adopción de estándares abiertos y la existencia de plataformas que permitan a los sistemas de la Internet de las cosas comunicarse entre ellos. Según McKinsey Global Institute, la ausencia de sistemas de interoperabilidad reduciría en al menos un 40% el beneficio potencial de estas aplicaciones.

Es necesario seguir reduciendo los costos de producción del hardware y de los servicios de comunicación, almacenamiento y procesamiento de datos, es decir, se debería lograr una reducción de entre el 5% y el 15% anual, dependiendo de la tecnología o el servicio. Entre los componentes de hardware destacan los sensores de bajo consumo, los sensores microelectromecánicos, los identificadores de radiofrecuencia y las baterías de bajo costo. En el caso de los servicios, el software analítico y de visualización, los enlaces entre comunicaciones de datos de bajo costo, y los servicios de procesamiento y almacenamiento de información son de carácter crítico.

Existen diversas estimaciones del impacto microeconómico que estas tecnologías tendrán en las empresas. Gerbert y otros (2015) estimaron que, en el caso de Alemania, en los siguientes diez años la productividad se incrementaría entre el 5% y el 8%, y se crearían hasta 390.000 empleos, producto de las mejoras en la flexibilidad, la velocidad, la productividad y la calidad. Por su parte, Manyika y otros (2015), a partir de una

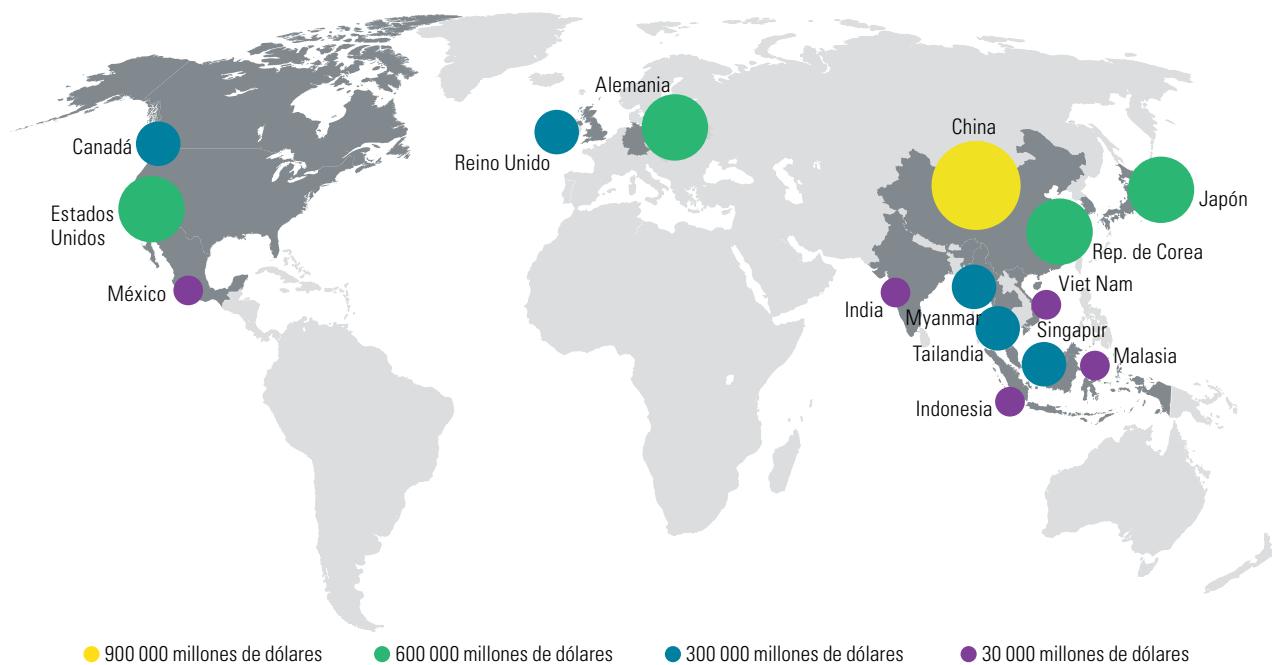
investigación que llevaron a cabo con 300 empresas de los Estados Unidos, el Japón y Alemania, calcularon que el incremento de la productividad puede llegar al 26%. Por su parte, PwC (2014) también analizó el caso alemán y estimó que, en cinco años, se lograría un aumento del 18% en materia de productividad y un ahorro anual del 2,65% gracias a la reducción de los costos.

Por otro lado, Roland Berger (2016) simuló el impacto que tendría implementar estas tecnologías en una fábrica típica proveedora de partes de automóviles, considerando cinco factores de cambio tecnológico¹⁰. Se estimó que esa implementación aumentaría de forma simultánea el rendimiento del capital invertido (de un 15% a un 40%), la utilización de la planta (de un 65% a un 90%) y la rentabilidad (de un 6% a un 13,1%).

Hacia 2020 se proyectan tres regiones mundiales de manufactura avanzada —América del Norte, Asia y Europa—, lideradas por los Estados Unidos, China y Alemania, respectivamente. De acuerdo al Índice Global de Competitividad de Manufactura de Deloitte, China era el país más competitivo en esta materia en 2010, 2013 y 2016, mientras que, en los Estados Unidos, se estaba mejorando el índice de competitividad y se había avanzado de la cuarta posición en 2010, a la tercera en 2013 y a la segunda en 2016. Se prevé que, hacia 2020, los Estados Unidos asumirán el liderazgo en competitividad, seguido por China y Alemania (Deloitte, 2016). Estos cambios en el ámbito de la competitividad manufacturera entre los países están configurando tres clústeres dominantes que competirán por la supremacía de la manufactura avanzada y donde el arbitraje de los costos empieza a sustituirse por el arbitraje de la automatización digital dado por la aplicación de la Internet industrial (véase el diagrama VI.2).

Diagrama VI.2

Principales clústeres y países exportadores de nueva manufactura hacia 2020



Fuente: Deloitte.

¹⁰ Los factores de cambio tecnológico son los siguientes: i) fábricas virtuales que permiten simular los procesos digitalmente antes de la fabricación, con lo que se acortan los tiempos de desarrollo y lanzamiento de nuevos productos; ii) flujos automatizados (vía vehículos autónomos o *cobots*), para hacer que el sistema global sea más flexible y sensible, y para dar respuestas que superan la capacidad humana tradicional; iii) máquinas inteligentes, que necesitan menos operarios que las tradicionales, y que 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 predecir el tiempo de inactividad de estas, y v) sistema ciberproductivo, que es el sistema de comando superior de la fábrica y sus proveedores, y permite producir en masa de forma personalizada y ajustar la producción a los cambios de la demanda.

E. La convergencia de la manufactura y los servicios

Una de las características de la transformación del ecosistema de las tecnologías digitales a partir de la década de 1990 fue la convergencia entre las industrias del hardware, el software, las telecomunicaciones y los servicios, principalmente los financieros y los de los medios de comunicación. Se define convergencia como una dinámica competitiva donde se diluyen las fronteras o los límites de las industrias y se unifican las tecnologías, debido a que las empresas buscan de forma permanente nuevas formas de crear valor (Basole, Park y Barnet, 2014). Desde hace poco está ocurriendo un proceso de transformación similar entre los diversos segmentos del ecosistema de la manufactura avanzada, que convergen como consecuencia de la reconfiguración de las cadenas de valor mediante la adición o la eliminación de actividades, y de la consolidación a través de fusiones y adquisiciones o de la completa expansión de actores en todo el ecosistema. Algunos segmentos de industrias que tradicionalmente se encontraban separadas, como la maquinaria, la electrónica, los semiconductores, el software, el procesamiento de datos y las telecomunicaciones, ahora tienen una estrecha interrelación, y ofrecen productos y servicios ciberfísicos, integrados y empaquetados.

Es cada vez más difícil distinguir entre manufactura y servicios avanzados. Las ventajas asociadas a las economías de escala se han complementado con las economías de ámbito (*scope*), en el sentido de que las empresas generan mayor valor al agrupar una variedad de productos y servicios, y ofrecer soluciones integradas de extremo a extremo (*end-to-end*). La expresión más común de este fenómeno es la interfaz entre los componentes de hardware, software y redes de comunicación que deben funcionar de forma coordinada en procesos complejos (Tassev, 2014). Otra dimensión de este fenómeno son los nuevos modelos de negocios que tienen por objeto rentabilizar maquinaria, equipos e infraestructura intensiva en capital y que se denominan “todo como servicio” (*anything as a service*), es decir, maquinaria como servicio (por ejemplo, las turbinas de avión de Rolls-Royce), procesamiento computacional como servicio (computación de alto rendimiento en la nube (*cloud high performance computing*)) o infraestructura como servicio (servicios de centros de datos).

Uno de los fenómenos de mayor significación en la industria del software ha sido el surgimiento de las empresas plataformas —por ejemplo, Apple, Alphabet, Microsoft y Amazon—, que han generado cambios disruptivos, no solo en el ámbito de los servicios digitales, sino también en la manufactura, el transporte, la banca, la salud y la energía. De las 25 principales empresas plataformas, 15 de ellas son de los Estados Unidos, 4 de China, 3 de Japón y el resto de Alemania, la República de Corea y Sudáfrica. Estas empresas han contribuido a mejorar la productividad, generar nuevos espacios de intercambio a través de la economía colaborativa (*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, debilitar la competencia y eludir impuestos y obligaciones laborales (Evans y Gawer, 2016).

La convergencia se ha medido de diferentes maneras, considerando variables como la diversificación corporativa, las relaciones tecnológicas, la colaboración en materia de patentes, el análisis macroeconómico de insumo-producto y las medidas analíticas de redes. En este capítulo, se utiliza este último enfoque y se estiman medidas analíticas de redes de adquisiciones y fusiones en el ecosistema de la manufactura avanzada, replicando la metodología de Basole, Park y Barnett (2014). Además del cálculo de métricas de redes de adquisiciones y fusiones, se han utilizado herramientas de visualización para caracterizar la dinámica competitiva de la convergencia en el tiempo.

La base de datos que se usó es la de fusiones y adquisiciones de Bloomberg, que contiene información de firmas que realizaron este tipo de operaciones e inversión minoritaria en activos de otras firmas¹¹. De esta base, se utilizaron alrededor de 102.000 casos que corresponden a acuerdos anunciados entre el 1 de enero de 1990 y el 31 de diciembre de 2016, en los que algunas de las entidades involucradas —sea como adquirente, sea como objeto de la adquisición— pertenecen a la industria avanzada y los servicios avanzados. Posteriormente, se realizó un proceso de filtrado y selección de atributos relevantes, para mantener solo los casos en que había existido una operación de fusión y adquisición y en que ambas entidades pertenecían a los sectores seleccionados. Como resultado de este proceso, quedaron alrededor de 40.000 casos de fusión y adquisición en los que participaron 53.000 firmas del ecosistema de la manufactura avanzada.

¹¹ Inversión minoritaria se refiere a la inversión en activos de otra firma, sin que necesariamente exista traspaso del control de la compañía.

Considerando las características tanto del fenómeno objeto de estudio como de los datos disponibles —que son ambos relacionales—, se optó por una estrategia de modelos con grafos dirigidos, que coincide con la forma en que se suelen abordar los ejercicios de redes económicas. La ventaja principal que tienen los modelos con grafos es la existencia de un marco teórico para estudiar estas estructuras. Pueden verse más detalles sobre el marco conceptual con el que se aborda del proceso de convergencia en Castillo (2017).

En relación con el análisis de los resultados del proceso de fusión y adquisición en el ecosistema de la manufactura avanzada, en el gráfico VI.1 se presenta el número de firmas y de acuerdos acumulativos de fusión y adquisición respecto de cada uno de los siguientes períodos: de 1999 a 2001, de 2002 a 2004, de 2005 a 2007, de 2008 a 2010, de 2011 a 2013 y de 2014 a 2016. La evolución de estas variables indica que el número de empresas involucradas y el número de acuerdos de fusión y adquisición aumentaron a una tasa similar entre 1999 y 2007, luego decrecieron hasta 2013 y se recuperaron levemente en el período 2014-2016. El número de empresas y el de acuerdos alcanzaron su máximo antes de la crisis financiera (2005 a 2007), con 12.000 firmas y 8.000 acuerdos. Durante todo el período analizado, el número de acuerdos por empresa se mantuvo relativamente estable en torno a 1,5 acuerdos.

Gráfico VI.1

Evolución de las empresas y los acuerdos de fusión y adquisición, 1999-2016
(En número de casos)

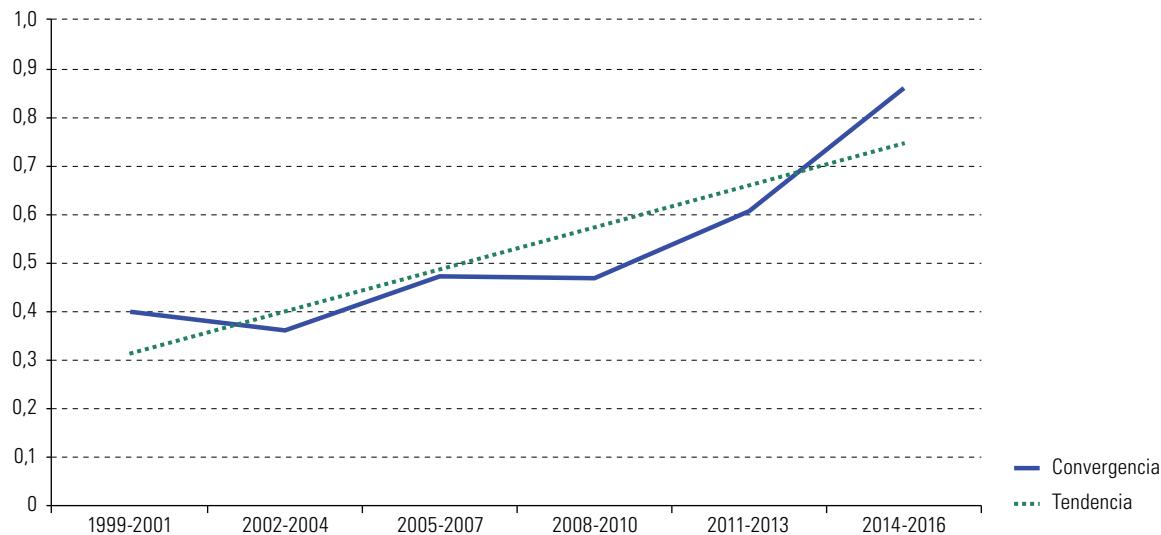


Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En el gráfico VI.2 se presenta una medida de la convergencia del ecosistema de la manufactura avanzada a partir de los acuerdos de fusión y adquisición. En este caso, se presenta la evolución del logaritmo natural de la inversa multiplicativa de la “asortatividad” de los sectores industriales. La “asortatividad” de los sectores es una medida que refleja que los acuerdos de fusión y adquisición se realizan entre firmas de distintos sectores. El proceso de convergencia aumenta levemente en el período 2002-2007, se acelera en el período de 2008 a 2013 y luego se acelera más aún a partir de 2014.

Gráfico VI.2

Convergencia del ecosistema de la manufactura avanzada, 1999-2016



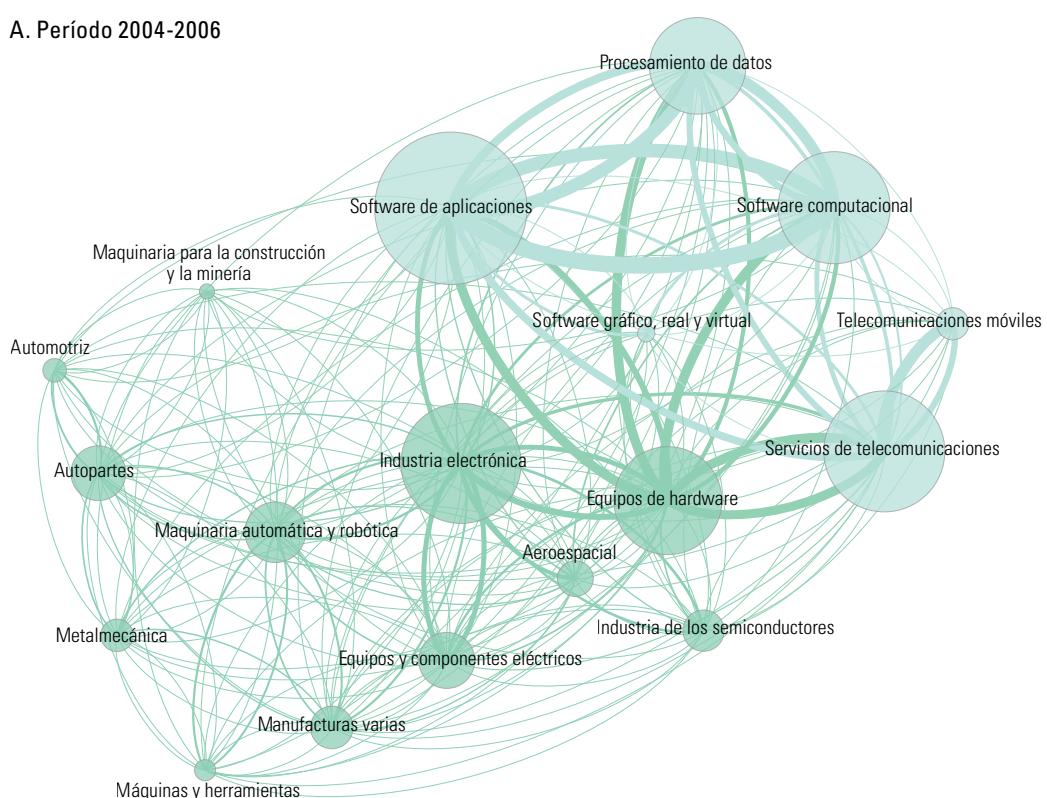
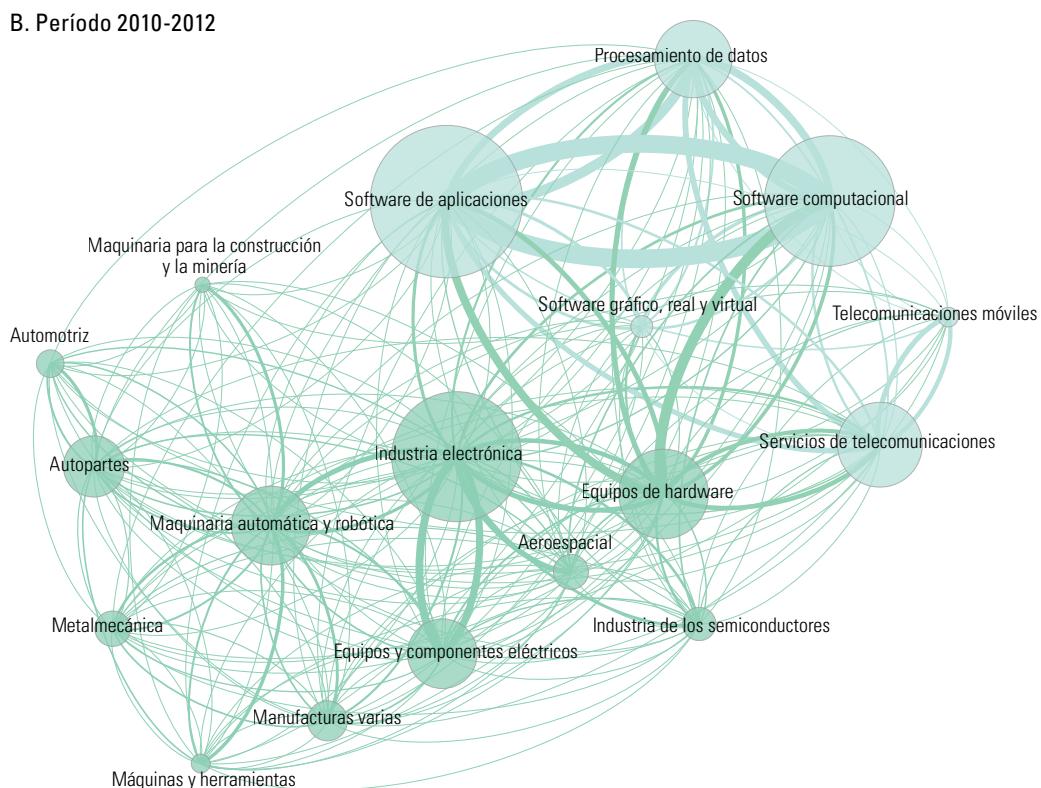
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En el diagrama VI.3, se visualiza la evolución estructural del proceso de convergencia en el ecosistema de la manufactura avanzada a nivel de sectores, en relación con los períodos 2004-2006 y 2010-2012. Las figuras muestran que, a partir de la década de 2000, en todos los sectores del ecosistema de la manufactura avanzada hubo un proceso de convergencia cuya intensidad aumentó a partir de 2010, después de una fase temprana en el período 2004-2006. La creciente interdependencia entre los diversos sectores del ecosistema muestra algunas singularidades, entre las que se destaca la centralidad de la industria del software, que actúa como aglutinador del ecosistema junto con la industria electrónica y la de los equipos de hardware, las telecomunicaciones, la maquinaria, la automatización y la robótica. Los sectores de las máquinas y los equipos comienzan a conectarse cada vez más entre sí y con la industria electrónica y la automotriz.

En el diagrama VI.4 se visualiza el avance de la convergencia del ecosistema en el período 2014-2016. Sus principales características son el aumento de la densidad de las conexiones entre todos los sectores del ecosistema, la disminución de los acuerdos entre las firmas de un mismo sector y la centralidad en las redes de convergencia entre cuatro núcleos tecnológicos principales: software y procesamiento de datos; electrónica y hardware; telecomunicaciones, y maquinaria y equipos. Estos resultados muestran que, dentro del ecosistema, se ha consolidado el proceso de convergencia de los servicios avanzados, principalmente del software, mientras que la manufactura avanzada todavía tiene un espacio para alcanzar su etapa de madurez.

Diagrama VI.3

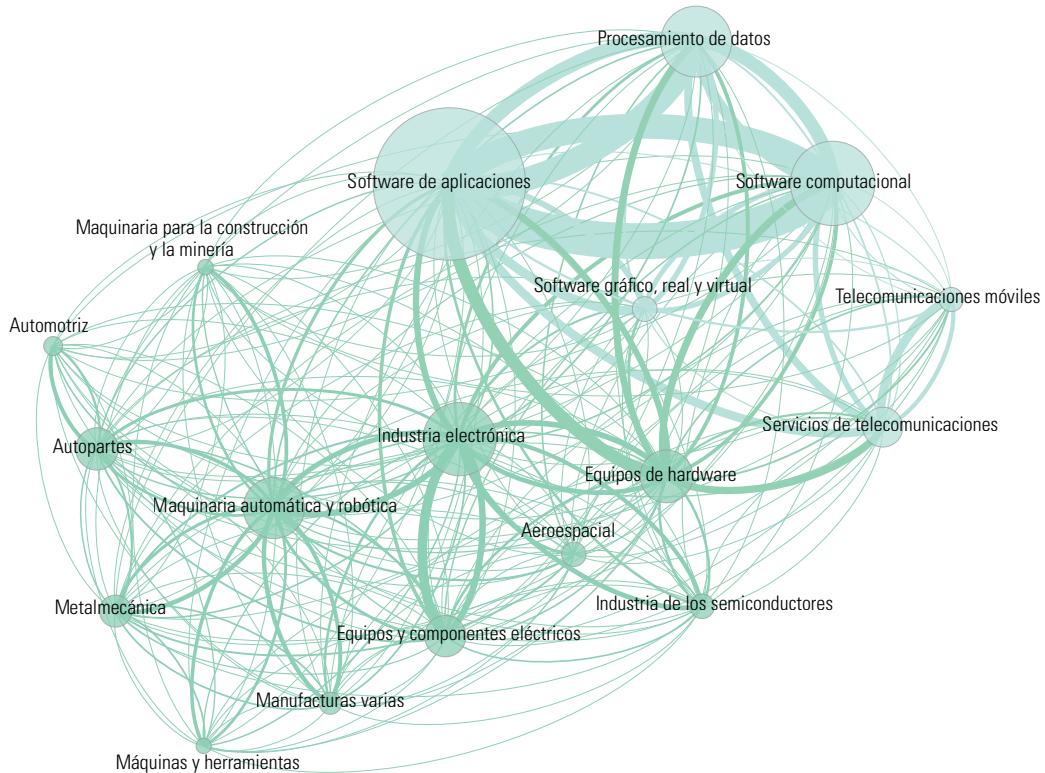
Aumento de la convergencia del ecosistema de la manufactura avanzada

A. Período 2004-2006**B. Período 2010-2012**

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Diagrama VI.4

Convergencia acelerada del ecosistema de la manufactura avanzada, 2014-2016



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

F. Conclusiones

La evolución del sector de manufactura avanzada a nivel internacional se caracteriza por la convergencia tecnológica, la consolidación de empresas líderes y la emergencia de nuevas plataformas de Internet industrial. Se está constituyendo un nuevo ecosistema de manufactura como resultado de la convergencia de la industria de la automatización industrial y el sector de las tecnologías digitales. Entre las principales características de este ecosistema, destacan la disolución de las fronteras entre la manufactura y los servicios digitales, 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 tiene un alcance y una escala acotados, pues la mayoría de las empresas industriales tradicionales enfrentan barreras —de infraestructura, tecnológicas, financieras y de gestión— que dificultan la incorporación y la adaptación de estas nuevas tecnologías.

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

Además, se están creando nuevas plataformas tecnológicas que, posibilitadas por las tecnologías de la Internet industrial, conectan de manera flexible y segura a los productores y los consumidores de la manufactura avanzada. Se prevé la consolidación de 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 los procesos. Por ello, se requiere contar con plataformas seguras y robustas que, frente a eventos imprevistos, minimicen el riesgo de falla a gran escala. De manera similar a lo ocurrido con la concentración de las plataformas digitales, surgirán controversias regulatorias debido a la capacidad de dominar mercados y amenazar la competencia.

Finalmente, si bien el sector industrial y tecnológico liderará esta transformación, las políticas industriales también desempeñarán un papel crítico en lo que respecta a facilitar la adopción y difusión de la manufactura avanzada (Cimoli y otros, 2017). Además de los nuevos requerimientos en materia 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 Group (2016), *Annual Report 2016: Committed to Unlocking Value*, Zurich.
- Basole, R., H. Park y B. Barnett (2014), "Coopetition and convergence in the ICT ecosystem", *Telecommunications Policy*, vol. 39, N° 7, Amsterdam, Elsevier, agosto.
- Castillo, M. (2017), "El estado de la manufactura avanzada: competencia entre las plataformas de la Internet industrial", *serie Desarrollo Productivo*, N° 217 (LC/TS.2017/123), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), diciembre.
- Cimoli, M. y otros (eds.) (2017), "Políticas industriales y tecnológicas en América Latina", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2017/91), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), noviembre.
- Costa, L. y otros (2007), "Characterization of complex networks: a survey of measurements", *Advances in Physics*, vol. 56, N° 1, Routledge, Taylor and Francis, febrero.
- Deloitte (2016), *2016 Global Manufacturing Competitiveness Index*, Londres.
- DestinHaus (2015), "The Internet of Things value chain", Rancho Santa Margarita, diciembre, inédito.
- Evans, D. (2011), "The Internet of Things: how the next evolution of the Internet is changing everything", *White Paper*, San Jose, Cisco Systems, abril [en línea] https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf.
- Evans, P. y A. Gawer (2016), "The rise of the platform enterprise: a global survey", *The Emerging Platform Economy series*, N° 1, Nueva York, Center for Global Enterprise (CGE), enero.
- Gartner (2015), "Gartner says 6.4 billion connected 'things' will be in use in 2016, up 30 percent from 2015", Stamford, 10 de noviembre [en línea] <https://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>.
- Gates, D., T. Mayor y E. Gampenrieder (2016), *Global Manufacturing Outlook 2016*, Amstelveen, KPMG International, mayo.
- Gerbert, P. y otros (2015), "Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries", Boston, Boston Consulting Group (BCG), 9 de abril [en línea] https://www.bcg.com/en-cl/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx.
- Hagel, J. y otros (2015), *The future of manufacturing: making things in a changing world*, Londres, Deloitte University Press.
- Huawei Technologies (2016), "Connect where it counts: mapping your transformation into a digital economy with GCI 2016", *WinWin*, N° 25, Shenzhen, julio.
- Kallstrom, H. (2015), "Suppliers' power is increasing in the automobile industry", *Investing in the automotive industry: what you need to know*, Nueva York, Market Realist, febrero [en línea] <https://marketrealist.com/2015/02/suppliers-power-increasing-automobile-industry>.
- Lund, D. y otros (2014), "Worldwide and regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 forecast: a virtuous circle of proven value and demand", Framingham, International Data Corporation (IDC) [en línea] https://www.business.att.com/content/article/IoT-worldwideRegional_2014-2020-forecast.pdf.
- Manyika, J. y otros (2015), *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*, San Francisco, McKinsey Global Institute (MGI), junio.
- (2012), *Manufacturing the Future: The Next Era of Growth and Innovation*, San Francisco, McKinsey Global Institute (MGI), noviembre.
- Muro, M. y otros (2015), *Americas' Advanced Industries: What They Are, Where They Are, and Why They Matter*, Washington, D.C., Brookings Institution, febrero.
- Newman, M. (2003), "The structure and function of complex networks", *SIAM Review*, vol. 45, N° 2, enero.
- Norton, S. (2015), "Internet of Things market to reach \$1.7 trillion by 2020: IDC", *The Wall Street Journal*, Nueva York, 2 de junio [en línea] <https://blogs.wsj.com/cio/2015/06/02/internet-of-things-market-to-reach-1-7-trillion-by-2020-idc/>.
- O'Brien, L. y A. Avery (2016), "Positioned for recovery: top 50 automation companies of 2015", *Control*, Schaumburg, 17 de octubre [en línea] <https://www.controlglobal.com/articles/2016/positioned-for-recovery-top-50-automation-companies-of-2015/>.
- PE (Parlamento Europeo) (2016), *Industry 4.0*, Bruselas.
- PwC (2014), *Industry 4.0: Opportunities and Challenges of the Industrial Internet*, Londres, diciembre.
- Roland Berger (2016), *The Industrie 4.0 Transition Quantified: How the Fourth Industrial Revolution is Reshuffling the Economic, Social and Industrial Model*, Munich.
- Strategy Analytics (2017), "IoT reality: market value less than \$ 0.5T globally by 2025", Nueva York, PR Newswire, 5 de abril [en línea] <https://www.prnewswire.com/news-releases/iot-reality-market-value-less-than-05t-globally-by-2025-300435200.html>.
- Tassey, G. (2014), "Competing in advanced manufacturing: the need for improved growth models and policies", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 28, N° 1, Nashville, Asociación Estadounidense de Economía.

Anexo VI.A1

Los sectores de manufactura avanzada y servicios avanzados

En este capítulo, se han identificado diez macrosectores de manufactura avanzada, tomando como referencia los sectores industriales de los Estados Unidos cuya innovación tecnológica es mayor y cuyos recursos humanos están más calificados. En el cuadro VI.A1.1 se presentan los sectores de manufactura avanzada en los que se observa el mayor gasto en investigación y desarrollo por trabajador y la mayor proporción de empleados con formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM)¹².

Cuadro VI.A1.1

Principales sectores de manufactura avanzada

Macrosectores	Gasto en investigación y desarrollo por trabajador, 2009 (en dólares por trabajador)	Proporción de trabajadores con formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, 2012 (en porcentajes)
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: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Brookings Institution, Comisión Europea y Bloomberg.

La organización industrial de la manufactura avanzada ha cambiado significativamente en la última década, sobre todo en el ámbito de las estrategias corporativas, los modelos de operación, los nuevos mercados y las alianzas estratégicas. Frente al cambio tecnológico y la competencia, las empresas se han visto forzadas a modernizar sus cadenas de producción, a sofisticar los productos y a desarrollar nuevos segmentos de mercado de alta tecnología. Ello ha sido posible gracias a la convergencia entre la manufactura, la electrónica, el software y las redes de comunicación, en un contexto en que, a partir de la crisis financiera de 2008, se inició una intensa actividad de fusiones y adquisiciones. En el cuadro VI.A1.2 se presentan las principales empresas de la manufactura avanzada a nivel internacional.

¹² Los sectores de manufactura avanzada se identificaron de acuerdo a tres criterios: i) que se tratara de sectores pertenecientes al sector manufacturero; ii) que el gasto en investigación y desarrollo por trabajador estuviera situado en el percentil 80 de la industria y fuera superior a 450 dólares, y iii) que la proporción de trabajadores del sector en ocupaciones especializadas en CTIM fuera mayor que el promedio nacional, es decir, que superara el 21% de los trabajadores.

Cuadro VI.A1.2

Principales empresas de manufactura avanzada

Macrosectores	Principales empresas
Industria automotriz	Toyota Motor Corporation, Volkswagen Group, General Motors, Ford Motor Company, Fiat Chrysler Automobiles, SAIC Motor Corporation Limited, Daimler AG, Honda Motor Company y Nissan Motor Company
Autopartes y equipo automotriz	Robert Bosch, Denso Corporation, China South Industries Group, Continental AG, ZF Friedrichshafen AG, Magna International, Hyundai, Aisin Seiki, Johnson Controls
Aeronáutica	Boeing Company, Airbus SE, China North Industries Corporation, 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, John Deere, China National Machinery Import and Export Corporation, Hitachi, Komatsu, Fiat, CNH, Atlas Copco, Kubota y Shaanxi
Maquinaria para construcción y minería	Caterpillar, John Deere, China National Machinery Import and Export Corporation, 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 los semiconductores	INTEL, Samsung, TSMC, Qualcomm, Sk Hynix, Texas Instruments, Broadcom, Toshiba, Micron Technology y Applied Materials

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Bloomberg.

En este capítulo 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 innovación tecnológica alta y recursos humanos muy especializados. En el cuadro VI.A1.3 se presentan los sectores de servicios avanzados en los que se observa el mayor gasto en investigación y desarrollo por trabajador y la mayor proporción de empleados con formación en CTIM¹³.

Cuadro VI.A1.3

Principales sectores de servicios avanzados

Macrosectores	Gasto en investigación y desarrollo por trabajador, 2009 (en dólares por trabajador)	Proporción de trabajadores con formación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, 2012 (en porcentajes)
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: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Brookings Institution, Comisión Europea y Bloomberg.

La relevancia de la industria del software en los servicios avanzados, en particular, y en las tecnologías, en general, está en su aporte al proceso de digitalización de la manufactura. De la misma manera que la manufactura avanzada, la industria del software está sujeta a las economías kaldorianas de escala, tiene efectos de derrame sobre los demás sectores de la economía, induce aumentos de productividad y contribuye a diversificar la oferta exportadora, con lo que se constituye en un motor para el crecimiento económico. 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 VI.A1.4 se presentan las principales empresas de software y de servicios de telecomunicaciones a nivel internacional.

¹³ Los sectores de servicios avanzados se identificaron a partir de los servicios de la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC) que cumplen los mismos criterios que la manufactura avanzada en materia de gasto en investigación y desarrollo por trabajador y proporción de trabajadores del sector en ocupaciones especializadas.

Cuadro VI.A1.4

Principales empresas de servicios avanzados

Macrosectores	Principales empresas
Software de aplicaciones	Microsoft, SAP SE, Alphabet Inc., Tencent Holdings, Sony, Salesforce, Activision Blizzard, Adobe Systems, Intuit y Electronic Arts
Procesamiento de datos	Huawei Technologies, IBM, Accenture PLC, Hewlett-Packard, Fujitsu, NEC Corporation, Tata Group y NTT Data
Software computacional	Microsoft, Oracle, IBM, Amazon, VMware, Symantec, Atea, CA Technologies, Citrix Systems y ITOCHU Techno-Solutions Corporation (CTC)
Software gráfico y realidad virtual	Microsoft, SAP SE, Alphabet Inc., Tencent Holdings, Sony, Salesforce, Activision Blizzard, Adobe Systems, Intuit y Electronic Arts
Telecomunicaciones móviles	AT&T, Verizon Communications, China Mobile, Nippon Telegraph and Telephone Corporation, Deutsche Telekom, SoftBank Group, Vodafone Group, Telefónica y Orange
Servicios de telecomunicaciones	AT&T, Verizon Communications, China Mobile, Nippon Telegraph and Telephone Corporation, Deutsche Telekom, SoftBank Group, Vodafone Group, Telefónica y Orange

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Bloomberg.



CAPÍTULO
VII

Inteligencia artificial para el desarrollo

- A. La teoría
 - B. La práctica: inteligencia artificial para el desarrollo
 - C. El desarrollo económico y social ante la inteligencia artificial
- Bibliografía

A. La teoría

1. Actualidad y perspectivas¹

El volumen de información producida crece a una velocidad vertiginosa de casi un 30% al año. Esto significa que cada tres años se dispone de más información nueva que la generada en toda la historia de la humanidad. La única manera de gestionar esa información es mediante el uso de tecnologías digitales.

El manejo de la información por las personas resulta imposible ante la explosión de la información digital. Los seres humanos no pueden filtrar los aproximadamente 500 millones de tuits enviados por día o el millón de horas de video subido en YouTube. Por ese motivo, hace tiempo que se comenzó a delegar la tarea de interpretar y filtrar el contenido en línea a algoritmos inteligentes. El crecimiento de la capacidad computacional en el mundo, que fue tres veces más rápido que el de la capacidad de almacenamiento y comunicación de información, permitió la implementación de algoritmos cada vez más complejos, potentes y flexibles.

La amplia disponibilidad de datos dio lugar a grandes avances en el campo de la inteligencia artificial (IA). Por ejemplo, las redes neuronales profundas (*deep neural networks*) permitieron reducir la tasa de palabras equivocadas (*word-error rate (WER)*) en el reconocimiento de voz del 26% al 4% en solo cuatro años (entre 2012 y 2016) (Lee, 2016). Esto las hace mucho mejores que los transcripciones humanas (Xiong y otros, 2016). Aplicadas a elementos visuales, permiten buscar imágenes que contienen conceptos abstractos como “un tierno abrazo”. Este poder interpretativo ha dado lugar a omnipresentes algoritmos de recomendación en línea, que se han convertido en agentes cruciales en la gestión de la comunicación (Ricci y otros, 2011). Las personas pasan dos tercios del tiempo despiertas comunicándose a través de canales mediados, de una forma u otra, por la inteligencia artificial (Center for the Digital Future, 2016). Entre otros ejemplos, el papel de los algoritmos de recomendación (*recommender algorithms*) se ha vuelto tan importante que se los responsabiliza por la creación de burbujas de filtro (*filter bubbles*) y cámaras de eco (*echo chambers*) que afectan el panorama comunicacional, incluidas las elecciones democráticas (Bakshy, Messing y Adamic, 2015; Colleoni, Rozza y Arvidsson, 2014; Pariser, 2011)².

En la actualidad, muchas personas confían su actividad diaria a la IA, como en el caso de los sistemas antibloqueo de frenos (ABS) de los automóviles y los pilotos automáticos de los aviones. La principal fuente de energía (la red eléctrica) está bajo el control de sistemas de inteligencia artificial (Ramchurn y otros, 2012), tres de cada cuatro transacciones en los mercados de valores de los Estados Unidos se realizan mediante algoritmos automatizados de negociación (Hendershott, Jones y Menkeld, 2011) y uno de cada tres matrimonios en ese país comenzó con una relación en línea (Cacioppo y otros, 2013). Los algoritmos digitales también han comenzado a tener un papel en las relaciones sexuales y la herencia genética de la humanidad. Vivir en una sociedad que delega casi todas sus decisiones en materia de distribución de energía, tres cuartas partes de sus decisiones sobre distribución de recursos y un tercio de sus decisiones sobre procreación a las máquinas muestra lo dependiente que es la economía y la sociedad de la inteligencia artificial en la actualidad.

a) Historia y panorama de la inteligencia artificial

Para comprender la manera en que la inteligencia artificial (IA) puede contribuir al desarrollo es necesario revisar su historia. Esto requiere la evaluación de dos conceptos: artificial e inteligencia, cuyas definiciones evolucionan con el progreso tecnológico.

Históricamente, los seres humanos han utilizado máquinas inteligentes durante un período de 2.000 a 3.000 años. Se han encontrado representaciones de creaciones robóticas en el *Talmud* y *La Ilíada* y en las visiones del Leviatán de Hobbes y las máquinas de Da Vinci. La mayoría de los analistas sitúan el nacimiento

¹ Este capítulo fue elaborado por Martin Hilbert y Supreet Mann, de la Universidad de California, Davis.

² Las burbujas de filtro y las cámaras de eco son situaciones en las cuales una persona está expuesta a ideas, personas, hechos o noticias centradas en una ideología política o social específica.

de la IA moderna en la década de 1950, relacionándolo con la famosa formulación de la prueba de Turing (cuyo objetivo es distinguir entre el comportamiento humano y el de la máquina) y con la Conferencia de Dartmouth de 1956, una reunión de investigadores que definió muchas de las direcciones generales en el campo de la IA durante las décadas siguientes. Los participantes de esa conferencia, como el pionero Herbert Simon, predijeron que, en los 20 años siguientes, las máquinas serían capaces de hacer cualquier trabajo que un hombre pudiera hacer. Marvin Minsky, colaborador de Simon, estuvo de acuerdo y escribió que el problema de crear inteligencia artificial se resolvería sustancialmente en una generación (Schreuder, 2014).

Siguiendo la típica curva de despliegue de los paradigmas tecnológicos (Pérez, 2009), el entusiasmo inicial se encontró con promesas incumplidas y escasez de fondos. Los años setenta se conocen como el invierno de la inteligencia artificial (Russell y Norvig, 1995). En las décadas de 1980 y 1990, se registraron algunos éxitos comerciales con los llamados sistemas expertos, una forma de inteligencia artificial que simula el conocimiento y las habilidades analíticas de los expertos humanos. En 1985, el mercado mundial de IA ya representaba más de 1.000 millones de dólares.

En las décadas de 1990 y 2000, el progreso tecnológico se centró en la proliferación de información por medio de conexiones a Internet, bases de datos y teléfonos móviles. Esto produjo una sobrecarga de información, que en la década siguiente derivó en la búsqueda de soluciones computacionales para dar sentido al diluvio de datos. El avance actual en IA se remonta a 2012, cuando Geoffrey Hinton y sus colaboradores sorprendieron al mundo académico demostrando el poder de las redes neuronales convolucionales profundas (*deep convolutional neural networks*) usadas para la clasificación de imágenes (Allen, 2015). Estas no se basan en sistemas expertos alimentados con patrones identificados (conocimiento, gramática, reglas de decisión, entre otros), sino en algoritmos de aprendizaje de máquina (*machine learning*) que descubren patrones.

b) La inteligencia artificial actual: aprendizaje de máquina

Uno de los principales objetivos de los modernos sistemas de IA es distinguir y extraer patrones de datos sin procesar para construir su propio conocimiento. Este objetivo deriva de las dificultades que surgen con el enfoque basado en el conocimiento para el aprendizaje artificial. El enfoque tradicional, implementado por sistemas expertos, apunta a codificar (*hard code*) el conocimiento sobre el mundo en lenguajes formales, de manera que las computadoras usen reglas de inferencia lógica para razonar en esos lenguajes (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). Sin embargo, este enfoque es limitado porque las personas no pueden establecer reglas formales que puedan detectar y representar con precisión sutilezas en el sistema de lenguaje. Por lo tanto, la solución actual no es trabajar con una base de conocimiento sino aprender conocimiento. La capacidad de la IA para construir su propio conocimiento se conoce como aprendizaje de máquina y permite que las computadoras resuelvan problemas que requieren cierta comprensión del mundo real y tomen decisiones que parecen ser situacionales y subjetivas.

En otras palabras, en contraste con los sistemas expertos basados en el conocimiento de la década de 1980, los nuevos sistemas adoptaron un enfoque de aprendizaje mucho más parecido al de los niños, que aprenden por medio de ejemplos y no de reglas. Los sistemas expertos se centraron en automatizar los conocimientos adquiridos por los humanos e incorporar las reglas resultantes en el código. Por ejemplo, para reconocer un automóvil, se enseñarían a las máquinas las reglas que definen un automóvil (cuatro ruedas, cierto tamaño, entre otras). Sin embargo, los cerebros de los niños pequeños no aprenden mediante esas reglas, sino por la asimilación de diferentes objetos clasificados como automóviles. Los criterios de clasificación resultantes son más flexibles y naturales que las reglas predefinidas (Halevy, Norvig y Pereira, 2009).

Hoy en día, los términos aprendizaje de máquina e inteligencia artificial se han vuelto casi equivalentes. La traducción por máquina es el epítome de esta trayectoria. Desde la década de 1950, entidades como IBM, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa (DARPA) trabajaron en la codificación de las reglas de la traducción de gramática y vocabulario en sistemas expertos, al igual que un libro de texto automatizado de traducción entre diferentes lenguajes naturales. En el mejor de los casos, los resultados podían usarse para ayudar, pero no para sustituir, a los expertos humanos. En 2006, Google Translate lanzó un motor estadístico de traducción basado en el aprendizaje

de máquina, que no aplica reglas gramaticales como lo haría un sistema experto, sino que se alimenta con un cuerpo (*corpus*) de texto bilingüe (o colección paralela) de más de 150 a 200 millones de palabras y dos cuerpos monolingües de más de 1.000 millones de palabras cada uno (Och, 2005). La máquina aprende las relaciones por sí misma. Como resultado, Google Translate admite más de 100 idiomas en varios niveles y atiende a más de 500 millones de usuarios a diario.

La distinción de relaciones entre conceptos también permite al aprendizaje de máquina interpretar significado: en la medida en que la semántica surge de relaciones entre conceptos puede ser aprendida por una máquina. Un ejemplo son los modelos de espacio vectorial, que tienen una larga historia en el procesamiento del lenguaje natural y representan entidades en un espacio vectorial continuo, donde las entidades semánticamente parecidas se representan en puntos cercanos. La similitud se revela estadísticamente, por ejemplo, prediciendo las palabras o frases siguientes sobre la base de las frases previas.³

En general, el algoritmo de aprendizaje puede ser supervisado o no supervisado. Se dice que una IA aprende de manera supervisada si se conoce el resultado deseado. Así como un niño aprende a asociar palabras a conceptos, se enseña a una máquina a convertir ciertos insumos en determinados resultados. El detalle de la relación insumo-producto depende de la máquina. Por ejemplo, se proporcionan imágenes de un individuo a la IA y la máquina asocia las características faciales de la persona con ese individuo. El aprendizaje no supervisado no tiene resultados preestablecidos. Se pide a la máquina que seleccione patrones indefinidos dentro de un marco teórico determinado. Por ejemplo, se proporcionan a la IA distintas imágenes y esta descubrirá que muchas de ellas corresponden a la misma persona.

c) Perspectivas de la inteligencia artificial

El aprendizaje de máquina supone que estas pueden encontrar patrones diferentes de los generalmente asimilados por los cerebros humanos. Así, la IA moderna es básicamente una caja negra, que logra un desempeño superior al humano sin que las personas comprendan cabalmente como se obtiene ese resultado. Por una parte, la ingeniería inversa (*reverse engineering*) del contenido de esas cajas negras puede llevar a algunos descubrimientos: por ejemplo, el programa AlphaGo de Google venció a los mejores jugadores de Go del mundo en 2015 y 2016, teniendo en cuenta más jugadas que el número de átomos del universo (Silver y otros, 2017). El campeón de Go Fan Hui afirmó categóricamente que al menos un movimiento decisivo no fue humano, pues nunca vio a una persona hacer esa jugada (Metz, 2016). Como reacción a esa jugada el campeón abandonó confundido el recinto, al que regresó 15 minutos después, para perder el juego. Así, gracias a una máquina inteligente, la sofisticada comunidad de jugadores de Go ganó una nueva visión de un juego con más de 2.500 años de historia.

Por otra parte, la proliferación de soluciones de IA también lleva a entender que existen otros tipos de inteligencia además de la inteligencia humana. Utilizando una analogía, la inteligencia humana es el resultado de una selección evolutiva, al igual que el vuelo de las aves. Históricamente, solo los pájaros podían volar. Con la revolución tecnológica de la aviación, se comenzó a comprender mejor el campo de la aerodinámica y se descubrieron muchas alternativas para volar, incluidos los helicópteros, los aviones de reacción y los cohetes espaciales. En la naturaleza no existía un medio para viajar a la Luna. El progreso tecnológico lo logró en los escasos 60 años transcurridos desde los vuelos de los hermanos Wright hasta el alunizaje de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) en 1969.

No debería sorprender que se descubra que la forma en que las presiones evolutivas diseñaron la inteligencia humana es solo una de las muchas implementaciones posibles de un concepto mucho más amplio. Las máquinas están descubriendo formas alternativas de ser inteligentes e impulsando la creciente complementariedad entre la inteligencia humana y la artificial.

³ Mikolov y otros (2013) presentan una representación del algoritmo Word2Vec implementada como la biblioteca de aprendizaje de máquina TensorFlow de Google. Por ejemplo, las 60 palabras más cercanas a la palabra "Colombia" corresponden a otros países, mayoritariamente latinoamericanos. También se encuentran los nombres de algunos países asiáticos y europeos y las palabras "Andes", "Caribe" y "república". El algoritmo aprendió el contexto del significado de "Colombia" y la relación entre las palabras de manera autosupervisada.

2. Arquitecturas de aprendizaje profundo

Una de las principales características teóricas de la implementación de la IA en la actualidad es el aprendizaje profundo (*deep learning*) o basado en redes neuronales profundas (*deep neural networks*). Entre otras formas de articular el aprendizaje profundo, se lo ha explicado como una red neuronal artificial (ANN), perspectiva que se basa en dos conceptos. El primero sugiere que el cerebro constituye un modelo para las redes artificiales y que es posible reproducir su funcionalidad para construir inteligencia. El segundo indica que los modelos de aprendizaje de máquina que arrojan luz sobre preguntas científicas básicas no solo son útiles para resolver aplicaciones de ingeniería, sino que pueden aclarar constructos teóricos más profundos sobre lo que se considera inteligencia (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016).

Aunque el modelo del cerebro es útil para pensar en el aprendizaje profundo, puede tener un papel limitado en la investigación contemporánea, pues el cerebro es un sistema demasiado complejo para extraer de él ideas o conclusiones importantes. Por lo tanto, en lugar de quedarse con las analogías biológicas, es más útil comprender otros conceptos fundamentales que se han desarrollado en el campo del aprendizaje de máquina. Estos se organizan en las cuatro R del aprendizaje profundo: representación, reutilización, robustez y regularización. Una meta importante es encontrar características tecnológicas que permitan enfrentar desafíos de desarrollo económico y social.

a) Representación: capas profundas

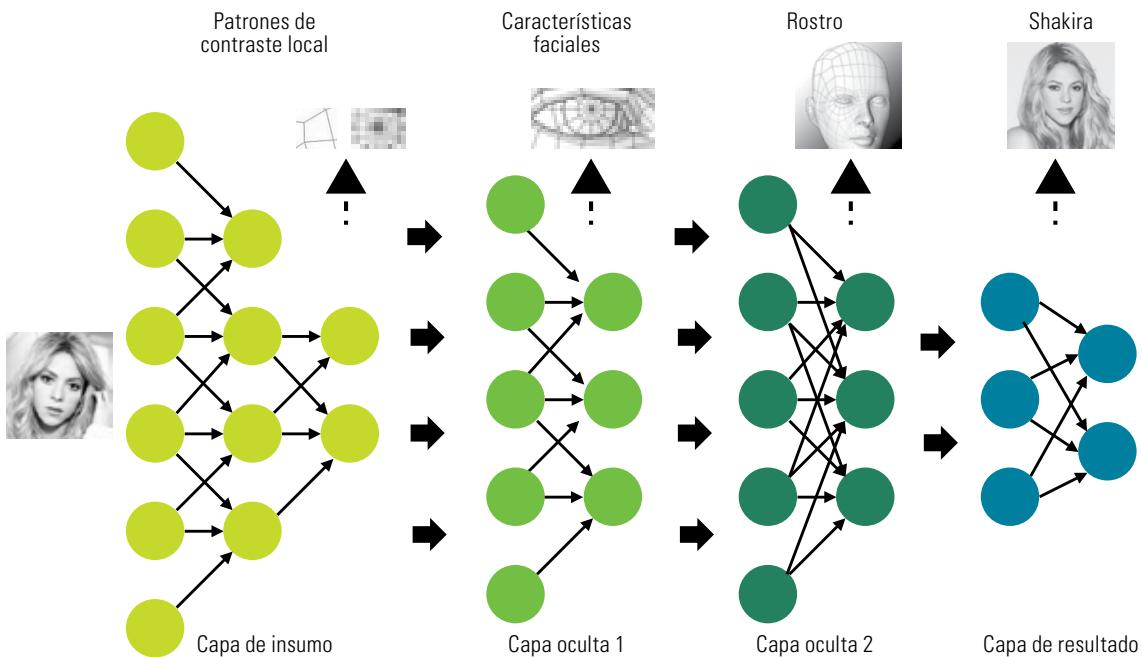
Una de las principales formas en que las máquinas de IA son capaces de comprender la naturaleza situacional y subjetiva de los datos es mediante el aprendizaje representacional (*representational learning*). Este comprende un conjunto de métodos que permiten que una máquina alimentada con datos de entrada (*inputs*) sin procesar descubra, a partir de esos datos, las representaciones necesarias para hacer clasificaciones (LeCun, Bengio y Hinton, 2015). Los métodos de aprendizaje profundo son esencialmente métodos de representación-aprendizaje con múltiples niveles de representación, que en forma progresiva producen representaciones con un grado de abstracción cada vez mayor.

Los algoritmos tradicionales de aprendizaje de máquina, como las regresiones logísticas, se alimentan mediante elementos que representan datos no procesados. Por ejemplo, un médico interpreta una imagen escaneada y alimenta las características observadas en un sistema de aprendizaje de máquina (la máquina no recibe la imagen sino una representación de la imagen), que luego sugiere acciones (por ejemplo, calcula la probabilidad de que se requiera cirugía). Para esto se requieren doctores especializados en la tecnología de imágenes médicas, que suponen un costo elevado y cuya interpretación puede ser subjetiva. Una solución es utilizar el aprendizaje de máquina para descubrir no solo el mapeo de la representación en el resultado, sino también la representación en sí misma. Esto se denomina aprendizaje de representación (*representation learning*). El aprendizaje profundo implica además que los niveles de características (*features*) se aprenden a partir de los datos y no son diseñados explícitamente por ingenieros humanos. En otras palabras, la máquina no solo aprende la estructura de datos (aprendizaje tradicional), sino también una parte de su propia arquitectura de alto nivel.

El aprendizaje de representación depende de factores particulares de variación que ayudan a separar cada factor único de la representación. Uno de los principales problemas de este enfoque es que a menudo algunos de los factores de variación influyen en múltiples datos, por lo que es necesario separar los factores de variación e ignorar aquellos que son insignificantes. El aprendizaje profundo resuelve el problema de separar los factores de variación mediante la introducción de representaciones que se expresan en términos de otras representaciones más simples (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). A modo de ejemplo, en el diagrama VII.1 se muestra un caso de reconocimiento de imagen, como el que se realiza millones de veces cada día en redes sociales como Facebook o Instagram.

Diagrama VII.1

Representación del reconocimiento facial mediante redes neuronales profundas



Fuente: M. Hilbert y S. Mann, "Artificial intelligence for development: AI4D", Rochester, 2018, inédito.

Una arquitectura de aprendizaje profundo es esencialmente una pila multicapa de módulos simples que están sujetos al aprendizaje (LeCun, Bengio y Hinton, 2015). El ejemplo clásico de un modelo de aprendizaje profundo es la red profunda prealimentada (*feedforward deep network*) o perceptrón (neurona artificial) multicapa. Un perceptrón multicapa es una función que asocia un conjunto de valores de entrada a valores de salida utilizando una serie de capas ocultas que extraen características abstractas de la capa de entrada o visible (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). Como se muestra en el diagrama VII.1, las diferentes capas aprenden diferentes aspectos del conjunto, introduciendo una modularidad flexible y robusta. Para pasar de una capa a la siguiente, un grupo de unidades calcula una suma ponderada de sus entradas de la capa previa y pasa el resultado a través de una función no lineal (LeCun, Bengio y Hinton, 2015). Para lograr un óptimo de bondad de ajuste (*goodness-of-fit*) se puede utilizar la retropropagación (*backpropagation*), que da a la red la capacidad de formar y modificar sus propias interconexiones.

b) Reutilización: aprendizaje multitarea y transferencia de conocimiento

El resultado más importante de la representación modular multicapa del conocimiento es que permite mejores generalizaciones, incluido un esquema para minimizar el error de generalización de las funciones de predicción y reducir los sesgos con respecto al entrenamiento proporcionado (Yu y otros, 2015). También se puede enfocar en un entrenamiento capa por capa y luego usar los conocimientos adquiridos de una capa para mejorar las tareas en otra. El resultado es esencialmente una transferencia de conocimiento: la naturaleza modular permite ajustes dependientes del contexto sin necesidad de comenzar de cero.

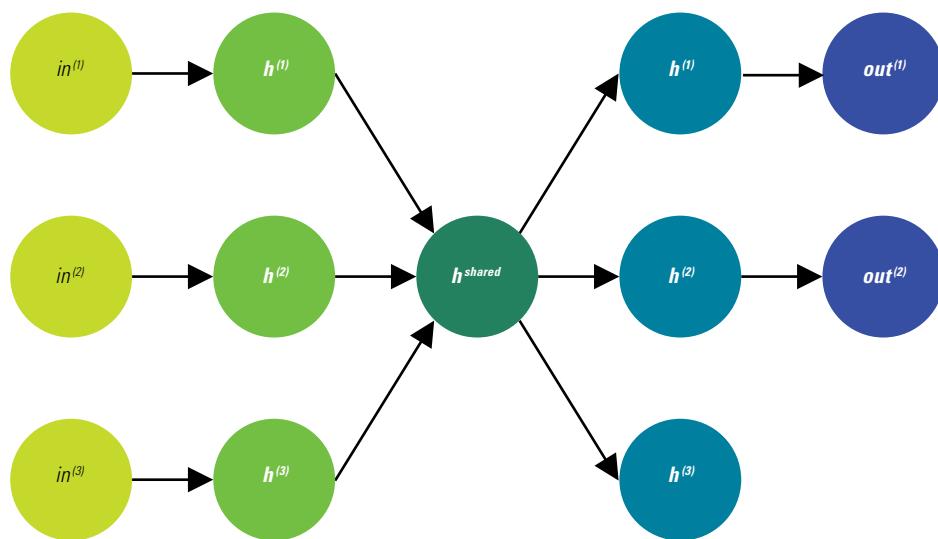
Un elemento común en la vasta colección de métodos que se refieren al aprendizaje multitarea es la parte del modelo en que las tareas captan un conjunto común de estructura. La suposición subyacente es que algunos de los factores que explican las variaciones observadas en los datos asociados con diferentes tareas se comparten en diferentes contextos. Por ejemplo, el reconocimiento de imágenes con redes neuronales profundas comparte características aprendidas sobre líneas, ojos y rostros en niveles inferiores. Los sistemas de recomendación en línea aprenden a transferir las preferencias de los compradores entre libros, música y

productos electrónicos de consumo. La noción de reutilización está en el corazón de las ventajas teóricas detrás del aprendizaje profundo, es decir, la construcción de múltiples niveles de representación o el aprendizaje de una jerarquía de características (Bengio, Courville y Vincent, 2013).

Cuando esta idea se implementa en un entorno semisupervisado a menudo se denomina aprendizaje multitarea, mientras que cuando se hace mediante aprendizaje supervisado se denomina transferencia de aprendizaje (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). Técnicamente, esto se puede implementar de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, resumiendo las estructuras compartidas de distintos insumos y proporcionando una base compartida para evaluar diversos productos (véase el diagrama VII.2).

Diagrama VII.2

Arquitectura ilustrativa del aprendizaje multitarea o de transferencia



Fuente: M. Hilbert y S. Mann, "Artificial intelligence for development: AI4D", Rochester, 2018, inédito.

En la arquitectura ilustrativa del aprendizaje multitarea o de transferencia, una variable oculta en los niveles medios tiene una semántica compartida, mientras que las variables de entrada y las variables de salida específicas de la tarea tienen diferentes significados. En este caso, el factor $h^{(3)}$ del diagrama VII.2 explica algunas de las variaciones de entrada, pero no es relevante para la tarea actual.

En un entorno supervisado, esta técnica es extremadamente útil cuando hay muchos más datos en una configuración que en otra. Por ejemplo, se podría entrenar la visión por computadora con imágenes de gatos domésticos y luego usar las características extraídas para detectar el leopardo salvaje de las nieves, que rara vez aparece (Yosinski y otros, 2014). Incluso se puede usar para casos sin precedentes, para los que no hay ejemplos de etiquetas disponibles (el llamado aprendizaje de cero disparos o *zero-shot learning*) (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). Esto es útil para análisis de temas sobre el desarrollo internacional, cuyo contexto está plagado de asimetrías de información.

c) Robustez: redes neuronales convolucionales

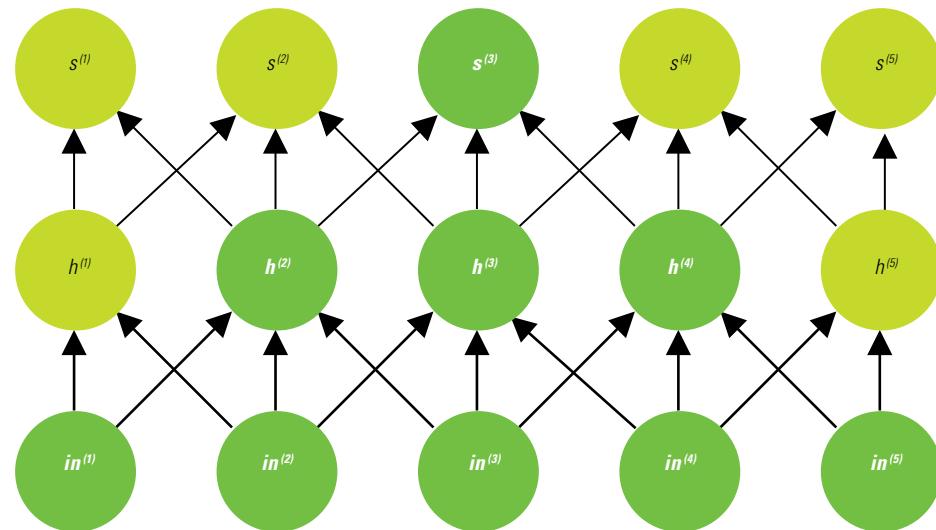
Las redes neuronales convolucionales (CNN) son un tipo de red profunda que se considera fácil de entrenar y generalizar y una de las aplicaciones más comunes de las redes neuronales profundas (LeCun, Bengio y Hinton, 2015). Las redes neuronales convolucionales están diseñadas para procesar datos en forma de matrices múltiples, como una imagen a color formada por múltiples cuadrículas bidimensionales que contienen píxeles de diversa intensidad. Han sido muy exitosas en aplicaciones prácticas.

Las redes convolucionales son el mayor triunfo de la inteligencia artificial inspirada en la biología. Se basan en el concepto galardonado con un Premio Nobel de que algunas neuronas responden a patrones muy específicos y difícilmente a otros, a la vez que son muy robustas e invariables al hacer lo que hacen (Hubel y Wiesel, 1968). En las redes convolucionales esto se implementa mediante el uso sistemático de parámetros compartidos que involucran al menos dos tipos de capas: capas convolucionales y capas de agrupamiento. La función de la capa convolucional es detectar grupos de funciones o características de la capa anterior, en tanto que la función de la capa de agrupación es unir funciones o características similares, es decir, literalmente agruparlas. De esta forma, incluso si una imagen de entrada tiene millones de píxeles, podemos detectar características pequeñas y significativas, como los bordes, con núcleos que ocupan solo decenas de píxeles, y compartir esos parámetros. Esto se hace deslizando ventanas superpuestas de representación compartida sobre la estructura de la grilla, tanto desde arriba como desde abajo (véase el diagrama VII.3).

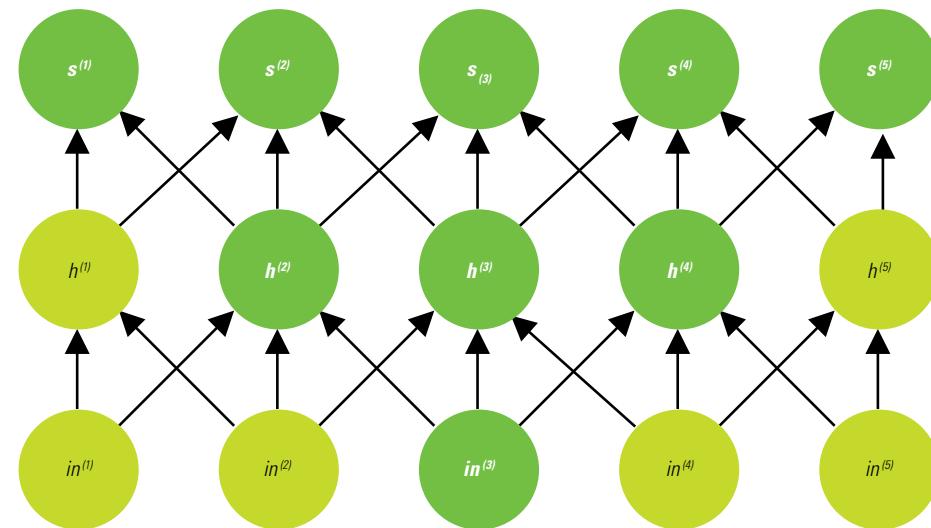
Diagrama VII.3

Conectividad compartida en una red convolucional

A. Vista desde arriba



B. Vista desde abajo



Fuente: M. Hilbert y S. Mann, "Artificial intelligence for development: AI4D", Rochester, 2018, inédito.

A pesar de la escasa (incompleta) conectividad (de alcance 3 en el gráfico), la estratificación profunda puede conectar indirectamente todas las entradas y salidas (dependiendo del ancho y la profundidad). Esto se puede hacer desde arriba (véase el diagrama VII.3A), lo que define campos receptivos (*receptive fields*), y desde abajo (véase el diagrama VII.3B), cuando la salida está formada por convolución con un núcleo de un ancho y una profundidad especificados.

Lo importante es que esta particular forma de compartir parámetros en redes convolucionales hace que la capa sea equivalente a una traducción. Esto significa que, si la entrada cambia, la salida cambia de la misma manera. Esto asegura que el orden no importe bajo la equivalencia (*equivariance*): $f(g(x)) = g(f(x))$. Se obtiene la misma representación de una entrada, incluso si ocurre antes o después o desplazada hacia uno u otro lado. Por ejemplo, esto permite detectar si un rostro aparece en una imagen, sin perderse en los detalles relativos a la dirección, el lugar exacto y el fondo o contexto, entre otras cosas. También permite beneficiarse del hecho de que algunas características útiles para aprender sobre una parte de los datos también pueden ser útiles para otras. Esto aumenta la eficiencia, la coherencia y la estabilidad temporal de todo el sistema, mientras procesa la diversidad y la dinámica de la entrada. Para el desarrollo humano, el concepto de equivalencia permite asegurar que los diferentes insumos se representen de manera eficiente y se puedan detectar incluso si vuelven a aparecer en una configuración que depende en gran medida del contexto y la volatilidad, que es la norma para la dinámica del desarrollo económico y social.

d) Regularización: sobreajuste (*overfitting*)

La necesidad de que el aprendizaje sea sólido y flexible apunta al principal desafío relacionado con el rendimiento del aprendizaje de máquina, que consiste en decidir cuándo dejar de aprender. El algoritmo podría aprender detalles particulares del conjunto de datos específico que no son generalizables. Esto se conoce como el problema del sobreajuste (*overfitting*), que significa que el algoritmo aprendió más detalles de los que debería haber aprendido.

Sobreajuste significa ajustar los datos más de lo necesario (*warranted*) (Abu-Mostafa, Magdon-Ismail y Lin, 2012). Esto ocurre automáticamente al aprender regularidades y patrones y a menudo es subjetivo. Con frecuencia, el propósito final de la aplicación del algoritmo define los aspectos que son necesarios y aquellos que son ruido.

Para la comunidad de aprendizaje de máquina, la forma más común de lidiar con el sobreajuste se conoce como regularización. La regularización es cualquier modificación que se haga a un algoritmo de aprendizaje destinada a reducir su error de generalización, pero no su error de entrenamiento (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). Regularización es un término amplio que incluye diversos métodos, en su mayoría heurísticos aproximados. Como resultado, la regularización es tanto un arte como una ciencia (Abu-Mostafa, Magdon-Ismail y Lin, 2012).

B. La práctica: inteligencia artificial para el desarrollo

Con una mejor comprensión de algunos de los logros, los conceptos y las arquitecturas de los sistemas de IA modernos (específicamente las cuatro R), a continuación se examina la manera en que la IA puede utilizarse para el desarrollo económico y social, cuya conceptualización se basa en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas⁴. Sobre la base de un estudio de 24 casos se identificaron cuatro elementos que enmarcan los efectos de la IA en la dinámica del desarrollo. Los dos primeros se refieren a la ubicación del procesamiento de la información mediante IA y los dos últimos a la entrada y salida de este procesamiento con respecto a la realidad empírica (Hilbert y Mann, 2018).

Transferencia de inteligencia:

- i) La inteligencia a distancia se refiere al hecho de que las redes de telecomunicaciones modernas permiten la aplicación a distancia de sistemas de inteligencia artificial altamente entrenados.

⁴ Se examinaron las tecnologías de IA que abordan 9 de los 17 ODS. Se recopilaron y analizaron 24 casos de estudio diferentes. El método de recolección de casos se basó en principios de camino aleatorio y bola de nieve bastante desestructurados, pues inicialmente no se esperaba encontrar tantos ejemplos interesantes. Dado el método no estructurado de recolección de estudios de caso, las cuatro características determinadas pueden no ser exhaustivas.

- ii) La inteligencia local se refiere al hecho de que los sistemas de IA se pueden aplicar de forma autónoma localmente, adaptándose al contexto y los requisitos locales.

Manipulación de la realidad:

- iii) La realidad aumentada, virtual y duplicada se refiere al hecho de que los sistemas de IA permiten crear los llamados gemelos digitales de aspectos de la realidad, que luego pueden usarse para mejorar nuestra comprensión de la realidad o duplicar aspectos de esta.
- iv) La realidad de grano fino (*fine-grained reality*) se refiere al hecho de que la huella digital proporciona mapas cada vez más detallados de la realidad y el aprendizaje de máquina permite explotar la información resultante para impulsar el logro de los objetivos de desarrollo.

En el cuadro VII.1 se presentan los cuatro elementos característicos de la inteligencia artificial para el desarrollo en relación con los ODS.

Cuadro VII.1

Características de la inteligencia artificial (IA) para el desarrollo en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Características de la IA ODS	Inteligencia a distancia	Inteligencia local	Realidad aumentada, virtual y duplicada	Realidad de grano fino (<i>fine-grained reality</i>)
Objetivo 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible		Agricultura inteligente con análisis del cambio climático	Plantas que duplican alimentos de origen animal	
Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades	Soporte a diagnóstico Interpretación de rayos X en casos de tuberculosis Diagnóstico automatizado Detección temprana de cataratas congénitas	Agilización de trámites médicos Motores de investigación farmacéutica y médica Eliminación de cirugías innecesarias Detección de malaria mediante teléfonos móviles	Mejora de la seguridad del conductor mediante mapas tridimensionales y conducción automática	Investigación de compuestos químicos Predicción del desarrollo de enfermedades cardiovasculares
Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos	Automatización de la educación individualizada y la educación especial	Detección de patrones ocultos en las escuelas		Detección de estudiantes conflictuados
Objetivo 5: Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas		Simulación para educar sobre la igualdad de género	Información (simulación) y guía virtual sobre embarazo y derechos de las niñas	
Objetivo 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos		IA local como habilitadora de la productividad en todos los sectores		
Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles		Ciudades más seguras y sostenibles Ciudades más inteligentes	Guía automática del comportamiento del conductor para mejorar la seguridad	Mapas de reparación de carreteras
Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles	Suministro de agua justo a tiempo	Detección de tuberías riesgosas Sistemas de riego a demanda	Ánalysis de rentabilidad de uso del suelo	
Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible			Modelamiento de ecosistemas y definición de alternativas sostenibles	Protección de especies en peligro de extinción mediante drones Mapas digitales de océanos
Objetivo 15: Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad		Preservación de la madera	Modelo tridimensional interactivo de la Tierra de EarthCube	

Fuente: M. Hilbert y S. Mann, "Artificial intelligence for development: AI4D", Rochester, 2018, inédito.

Nota: Corresponde a la descripción general de soluciones basadas en IA a partir de 24 estudios de caso organizados en el marco analítico de la inteligencia artificial para el desarrollo.

1. Inteligencia a distancia

La inteligencia a distancia es la capacidad de las tecnologías de inteligencia artificial (IA), en combinación con las telecomunicaciones, para remediar la carencia de recursos en campos que no cuentan con personal suficiente o han sido poco investigados. Esto es especialmente importante si se considera que el aprendizaje multitarea y de transferencia permite reutilizar la inteligencia generada u obtenida en otro lugar. Una de las aplicaciones pioneras es el uso de la IA en los sectores de educación y salud, como en el caso de la educación a distancia automatizada y los diagnósticos a distancia para tratar una serie de enfermedades (cataratas congénitas, tuberculosis y cáncer de mama, entre otras).

En el ámbito de la educación, las soluciones de IA permiten automatizar los sistemas de educación y tutoría, proceso que a su vez permite soluciones de bajo costo a gran escala. Se pueden automatizar actividades especialmente estructuradas, como el aprendizaje de idiomas, la programación de software o las habilidades analíticas cuantitativas. Los sistemas de IA de aprendizaje posibilitan la masificación de una experiencia de educación individualizada para un curso estructurado.

La inteligencia a distancia puede revolucionar la industria de la salud al incrementar la eficiencia y la cobertura. Por ejemplo, Enlitic es una empresa emergente que combina el aprendizaje profundo con datos médicos para mejorar el diagnóstico y, por ende, los resultados de los pacientes. Sus redes de aprendizaje profundo examinan millones de imágenes para aprender a identificar enfermedades en forma automática. Esto puede proporcionar información importante sobre detección temprana, planificación del tratamiento y control de enfermedades. El proyecto DeepMind Health de Google funciona en el mismo campo. Se puede usar para interpretar los resultados de las pruebas y conocer los tipos de tratamiento más efectivos para diferentes pacientes. Si bien DeepMind se fundó en Londres con el objetivo de aumentar la eficiencia del sistema nacional de salud del Reino Unido, la tecnología que se está desarrollando puede beneficiar a las comunidades de todo el mundo, en la medida en que busca apoyar a los sistemas de salud existentes y convertirlos en iniciativas autosostenibles.

Uno de los mayores beneficios potenciales de la inteligencia a distancia es la capacidad de ofrecer una mayor igualdad de acceso a los diagnósticos. Esto se puede utilizar para proporcionar acceso a la inteligencia médica en regiones remotas y desatendidas, ya sea a nivel nacional o internacional.

Zebra Medical Vision ha creado un servicio llamado Zebra AI1 que utiliza algoritmos para examinar escaneos médicos por solo 1 dólar cada escaneo. El motor de aprendizaje profundo puede examinar imágenes de resonancia magnética, tomografía computarizada y otros escaneos y detectar automáticamente enfermedades de pulmón, hígado, corazón y huesos con el desarrollo de nuevas capacidades. Los resultados se transmiten a los radiólogos, a los que les lleva menos tiempo hacer un diagnóstico o solicitar más exámenes. En la actualidad, el sistema puede detectar casi 20 enfermedades. GE Healthcare ha presentado una tecnología similar junto con NVIDIA Corporation e Intel Corporation. GE Healthcare actualizará 500.000 de sus dispositivos médicos en todo el mundo con el escáner de tomografía computarizada Revolution Frontier de NVIDIA Corporation. La tecnología se utilizará en los dispositivos avanzados de imágenes de ultrasonido de GE Healthcare para proporcionar visualización y cuantificación de datos. GE Healthcare también se ha asociado con la plataforma escalable Intel Xeon de Intel Corporation para enviar imágenes a los radiólogos lo más rápido posible. Junto con las soluciones de imagenología de GE Healthcare, la plataforma escalable Intel Xeon tiene el objetivo de mejorar la productividad de lectura de los radiólogos en comparación con la generación anterior, al aumentar la velocidad y reducir el tiempo de visualización y carga de las imágenes.

El uso de la inteligencia artificial para diagnosticar y procesar imágenes médicas tiene como objetivo complementar el trabajo realizado por los profesionales médicos y ayuda a ahorrar tiempo y eliminar costosos diagnósticos erróneos.

La inteligencia a distancia también se utiliza en nuevas formas de diagnóstico de la malaria. De los 300 a 500 millones de casos que se registran anualmente, entre 1,1 y 2,7 millones son mortales y afectan en su mayoría a niños. En los países en desarrollo, la falta de acceso a un diagnóstico preciso se debe en gran medida a la escasez de profesionales y equipos. Los resultados de una encuesta reciente en Uganda indican que solo la mitad de los centros de salud rurales tenían microscopios y, de esa proporción, solo el 17% tenía personal con la capacitación necesaria para utilizarlos en el diagnóstico de la malaria. Incluso en los casos en

que se dispone de un microscopista, la alta demanda impide que se dedique el tiempo suficiente al análisis de cada muestra, cuestionándose así la confiabilidad del diagnóstico.

Esto ha llevado a buscar una solución tecnológica para diagnosticar la malaria. En un prototipo planteado por BMC Bioinformatics se utilizan técnicas de procesamiento de imágenes y visión artificial para identificar parásitos en imágenes de frotis de sangre captadas mediante un microscopio estándar. Así, con suficientes datos de entrenamiento, los algoritmos utilizados en otros problemas de imágenes médicas o tareas de visión artificial (como la detección de rostros) pueden aplicarse al reconocimiento de los plasmodios de la malaria. Del mismo modo, se ha desarrollado un sistema comercialmente disponible llamado dispositivo Parasight para ayudar con el diagnóstico de dicha enfermedad. Este sistema computarizado analiza muestras de sangre, que luego se procesan mediante un algoritmo de aprendizaje de máquina que realiza la extracción de características mediante un clasificador de máquinas de vectores de soporte. El algoritmo examina características morfológicas únicas para llegar a un diagnóstico final que detecta, enumera e identifica los distintos tipos de malaria. El objetivo de este sistema es producir una plataforma de diagnóstico automatizada confiable que funcione sin la intervención de un experto.

2. Inteligencia local

Otra característica observada en los estudios de caso es la posibilidad de adaptar la inteligencia a las condiciones y necesidades locales. Un caso emblemático relacionado con el análisis de los efectos del cambio climático es el uso local de un algoritmo de aprendizaje de máquina (tomado de la neurociencia) para el análisis de un gran volumen de datos sobre clima y cultivos locales de arroz en Colombia. Los resultados están muy localizados y proporcionan recomendaciones para diferentes ciudades. La previsión ayudó a 170 agricultores de Córdoba a evitar importantes pérdidas económicas directas y a que pudieran tener la posibilidad de mejorar la productividad de la tierra de 1 a 3 toneladas de arroz por hectárea.

Otras tecnologías de aprendizaje de máquina se utilizan para promover la igualdad de género en el lugar de trabajo y el aula. Doberman Tech empleó el aprendizaje de máquina y el reconocimiento de voz para crear una aplicación que ayuda a promover la igualdad de género en la sala de reuniones. La aplicación registra y analiza el discurso durante una reunión y proporciona una visualización de la contribución de los oradores por género a medida que avanza la reunión. El objetivo de la aplicación es aumentar la conciencia sobre la igualdad de género.

Mucho se ha escrito sobre ciudades inteligentes, tanto a nivel mundial como en América Latina. La aplicación de IA de vanguardia para abordar los desafíos urbanos relacionados con el tráfico, la seguridad y la sostenibilidad sin duda corresponde a la categoría de inteligencia local. En línea con la infraestructura inteligente en las ciudades, HiBot Corporation emplea un sistema de inteligencia artificial diseñado para localizar algorítmicamente las tuberías con mayor riesgo de fallas, a partir de la inspección de tuberías que ya se han reemplazado y la evaluación de la dinámica del suelo, las fuerzas electromagnéticas provenientes de líneas eléctricas y otras características de esas áreas. En los Estados Unidos, ha detectado un gran número de interrupciones de agua por año en todo el país. Esto permite la conservación del agua mediante la prevención de pérdidas en las tuberías.

Naturalmente, también el sector de la salud puede beneficiarse de la adaptación de la IA a las condiciones locales. Por ejemplo, en muchos países en desarrollo, el diagnóstico preciso, a bajo costo y en tiempo real de enfermedades como la malaria es vital: los falsos negativos pueden ser mortales y los falsos positivos conducen a una mayor resistencia a los medicamentos, a un mayor costo económico e incluso a la falta de tratamiento de enfermedades con síntomas tempranos similares (como meningitis o fiebre tifoidea).

El procesamiento de imágenes y las técnicas de visión artificial se han utilizado para identificar parásitos en imágenes de frotis de sangre captadas mediante un microscopio estándar y, dados los suficientes datos de entrenamiento, los algoritmos utilizados en otros problemas de imágenes médicas o tareas de visión artificial como la detección de rostros pueden utilizarse para detectar el paludismo. Por medio de una aplicación de teléfono móvil basada en los algoritmos de procesamiento de imágenes morfológicas, se establece una unidad completa de diagnóstico que utiliza los teléfonos móviles conectados a un microscopio portátil.

3. Realidad aumentada, virtual y duplicada

En muchas aplicaciones prácticas, la inteligencia a distancia y local se combina cada vez más con el uso de la realidad virtual y aumentada. Los vehículos autónomos, por ejemplo, pueden usar mapas tridimensionales para tomar decisiones en tiempo real. Al mapear escenarios reales, los vehículos autónomos pueden elegir entre múltiples opciones para determinar la mejor trayectoria. Estas aplicaciones requieren el procesamiento robusto y flexible de conceptos bajo traducción equivalente. Se aplica un principio similar al de una empresa que está invirtiendo en tecnología que proyecta hologramas en tiempo real, creando así un modelo tridimensional aumentado. EarthCube ha desarrollado un modelo tridimensional interactivo de la Tierra que representa cada una de las capas que forman los niveles atmosféricos (sólido, gaseoso y líquido) y utiliza el aprendizaje de máquina para examinar los efectos de la interacción entre las diferentes capas.

Las realidades virtuales guiadas por la IA también se utilizan para fomentar la educación y la igualdad de género. Por ejemplo, en el juego Worm Attack! dirigido a niños de 7 años en adelante, los jugadores deben ir sumando un número cada vez mayor de niños saludables que derrotan a los parásitos dentro de sus estómagos; de esta manera, los niños conocen los peligros de los parásitos intestinales y aprenden sobre una solución antiparasitaria que podría tener un impacto positivo en su salud y educación. Por su parte, el Movimiento Half the Sky desarrolla juegos de simulación para teléfonos móviles con la finalidad de crear conciencia en el público general con respecto a los problemas que enfrentan las mujeres y las niñas. Por ejemplo, con el juego 9 Minutes las mujeres y las niñas aprenden sobre los principios de una gestación saludable mediante una experiencia corta de juego en que se describen y superan las diferentes etapas de los nueve meses de embarazo.

Más allá de las realidades aumentadas y virtuales, la IA también se está utilizando para duplicar el diseño de átomos del mundo real y objetos moleculares, como los alimentos. Se trata de duplicar la estructura de un determinado artículo para desarrollar una versión más sostenible de este. La duplicación se podría utilizar para combatir el hambre. The Not Company (NotCo) desarrolló un programa de inteligencia artificial llamado Giuseppe, que busca utilizar y duplicar la composición molecular de alimentos de origen animal para determinar las verduras que crearían un alimento con sabor, textura y olor similares. Not Mayo (no mayonesa) está hecho principalmente de albahaca, guisantes, papas y aceite de canola, en lugar de huevos y aceite de canola.

4. Realidad de grano fino (*fine-grained reality*)

Una de las formas en que la IA puede proporcionar información más detallada sobre áreas específicas en materia de desarrollo económico y social es refinando nuestra comprensión de la realidad mediante una nueva manera de recopilar datos con mayor granularidad. El aprendizaje automatizado de representación permite transformar detalles recién obtenidos en características útiles.

La recolección de detalles granulares ha demostrado su utilidad para dar respuesta a necesidades o crisis globales. Al recolectar datos en los campos agrícolas que de otro modo serían inaccesibles para las personas, la IA se podría usar para combatir el hambre. En el sector de la educación, la visión por computadora y el análisis de sentimientos se utilizan para identificar a los estudiantes en dificultades. A nivel mundial, este uso de la inteligencia artificial puede ayudar a promover el objetivo de proporcionar educación de calidad para todos los estudiantes, independientemente de su capacidad física o mental. El análisis granular también puede contribuir al desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles, a medida que las tecnologías se utilizan para examinar la influencia del diseño vial en el comportamiento de los conductores y las posibles modificaciones al diseño de la comunidad para promover una conducción segura.

Por último, el análisis detallado permite un nivel de mapeo que puede determinar el impacto de la dependencia social en el acceso a los recursos. Este permite modelar el colapso de los ecosistemas para determinar la dependencia existente, por ejemplo, mapear la pesca de subsistencia para fomentar el desarrollo sostenible.

C. El desarrollo económico y social ante la inteligencia artificial

La revisión de aspectos teóricos de la inteligencia artificial y sus usos permite distinguir oportunidades, tensiones y desafíos que esta tecnología plantea para el desarrollo de los países.

1. Oportunidad: reutilización de la inteligencia artificial para aplicar inteligencia a distancia

Las dinámicas y los objetivos de desarrollo presentan un conjunto de factores comunes que lo convierte en un campo fértil para la aplicación de diferentes tipos de aprendizaje multitarea y de transferencia. En el nivel más básico se podrían colocar estructuras comunes como los derechos humanos, que se suponen universales, inherentes e inalienables (Naciones Unidas, 1948). El aprendizaje de dichos elementos compartidos e intrínsecos en nuestra cultura promueve la proliferación de valores comunes y facilita la aplicación de la inteligencia a distancia. En diferentes regiones culturales o geográficas pueden acentuarse otros valores más específicos y en niveles más locales.

En los próximos años, las máquinas inteligentes aprenderán la arquitectura jerárquica de las complejas estructuras de preferencias multidimensionales que denominamos normas globales. Con una orientación adecuada, el resultado promete aumentar la coherencia moral y ética con un cierto nivel de creencias y valores compartidos, al tiempo que enfatiza la diversidad y el multiculturalismo. Las capas jerárquicas de aprendizaje profundo son una forma natural de encapsular la representación de los valores humanos genéricos y las costumbres y preferencias específicas. La IA moderna de aprendizaje profundo proporciona una forma tangible de implementar esta jerarquía existente de forma natural en las estructuras de preferencias humanas socialmente integradas.

2. Oportunidad: representación de la inteligencia artificial para la inteligencia local

La capacidad de la IA para aprender rápidamente nuevas representaciones en diferentes contextos de una manera robusta es quizás una de las mayores promesas de la IA moderna (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). La inteligencia local permite la capacitación ad hoc de agentes autónomos que consideran las particularidades de las condiciones locales en áreas remotas. La granularidad cada vez mayor y más automatizada de las observaciones proporciona insumos constantes que promueven descubrimientos mediante la explotación de variantes regionales, particularidades y dinámicas propias. Esto promete aumentos constantes de productividad a partir de las condiciones locales. La huella digital cada vez más precisa de los grandes datos permitirá a los actores locales encontrar más soluciones a medida para las condiciones locales únicas, que aumentarán la eficiencia económica y social a nivel nacional.

Al igual que AlphaGo descubrió formas innovadoras de resolver problemas complejos, la IA aplicada a las condiciones locales puede ofrecer soluciones únicas para los desafíos locales. La aplicación de realidades virtuales y aumentadas permite agregar nuevas capas informativas a las condiciones locales, impulsando mayores descubrimientos y la propuesta de soluciones novedosas, además de una automatización dependiente del entorno. Esto alienta a reemplazar las políticas de "talla única" por políticas hechas a medida en función del contexto, sobre la base de inteligencia mundial.

3. Tensión: eficiencia global y diversidad local

En forma aislada, las dos oportunidades anteriores prometen un futuro alentador. Combinadas, generan tensión entre la eficiencia global y las necesidades locales. En teoría, la naturaleza misma de la IA moderna ejemplifica los ideales de la dependencia del contexto local y la coherencia global. En la práctica, se enfrentan presiones económicas y sociales en forma de economías de escala, costos de transacción culturales y políticos y cohesión social.

La mayoría de los entrenamientos de IA se realiza en el mundo industrializado porque el proceso puede ser muy costoso. Esto determina el aprendizaje de los patrones de datos empleados para el entrenamiento. Debido a la ventaja económica de las soluciones centralizadas con respecto a la capacitación local, las soluciones y recomendaciones tenderían a adaptarse claramente a los contextos históricos y culturales de los países desarrollados donde se realiza la capacitación. En el mejor de los casos, su aplicación a los problemas de los países en desarrollo sería menos útil y, en el peor de los casos, negativa.

La historia ofrece ejemplos en que la hegemonía económica y cultural de un país llevó a la extinción de los valores, la cultura, los hábitos y los objetivos de desarrollo locales en otro. Si bien la IA moderna proporciona la posibilidad teórica de preservar y celebrar la diversidad, estos resultados no surgen de manera automática de la aplicación de la IA. Los incentivos económicos y las presiones sociales tienden a reproducir diseños de los países desarrollados, pues aún es más barato reutilizar una solución única. Esto supone una lucha contra la eficiencia económica de la reutilización del código de IA, que ha aprendido conceptos claramente sobreajustados a las condiciones del mundo desarrollado. La amenaza que surge es un adoctrinamiento global de la inteligencia del primer mundo.

4. Desafío: inteligencia artificial para el desarrollo en todos los países

El diseño de sistemas globales de inteligencia artificial que equilibren las eficiencias globales y los contextos locales se reduce a encontrar el límite entre los resultados que se pueden generalizar y los que no. Tomar una IA que funciona en un determinado contexto e intentar aplicarla a otros sin considerar las diferencias y limitaciones constituye un claro caso de sobreajuste. Para la comunidad de aprendizaje de máquina, la regularización es la principal arma para combatir el sobreajuste (Abu-Mostafa, Magdon-Ismail y Lin, 2012, pág. 126). El término conlleva además el sentido de la necesidad de regular un proceso que asegure la diversidad global en un mundo donde, de hecho, los sistemas de IA toman una parte cada vez mayor de todas las decisiones.

Dado que la regularización es más un arte que una ciencia, existe una gran variedad de opciones mal definidas en esta encrucijada. El resultado será una negociación implícita o explícita de naturaleza similar a la realizada por la comunidad de aprendizaje de máquina cuando se trata de problemas de regularización. Ambos casos apuntan a aprender percepciones generalizables y particularidades no generalizables entre diferentes configuraciones. En este caso, diferentes configuraciones del desarrollo de los países.

Una posibilidad es concentrarse en el desarrollo de soluciones que producen parámetros compartidos (por ejemplo, Hinton y otros, 2012), que regularizan así cada unidad para que no sea simplemente una buena característica, sino una característica que es buena en muchos contextos (Goodfellow, Bengio y Courville, 2016). Por supuesto, una solución que funciona para todos los casos es a menudo tan inútil como una que no funciona para ninguno.

En esta negociación, la única variable controlable para los países en desarrollo es su nivel de proactividad. La pregunta es cuál será su peso en la mesa de negociación sobre la gobernanza de la inteligencia artificial. Los países en desarrollo tendrán que comenzar a invertir intensamente en la construcción de su capacidad de IA para evitar que se los abrume con soluciones que, en el mejor de los casos, carecerán de adecuación y, en el peor de los casos, serán perjudiciales para ellos.

En este sentido, cabe señalar que la IA sigue siendo una tecnología incipiente cuyos actores no están totalmente definidos. Entre los países líderes en el tema sorprende el liderazgo de China y el papel que cumplen algunos países pequeños. Con 41.000 publicaciones entre 2011 y 2015, China ocupa el primer lugar en términos de publicaciones relacionadas con la IA, seguida por los Estados Unidos (25.000), el Japón (alrededor de 11.700) y el Reino Unido (alrededor de 10.100). En términos de impacto de citas ponderadas por campo (que permite diferencias en las citas según el tema y el año), las tres primeras posiciones están ocupadas por Suiza, Singapur y Hong Kong (Región Administrativa Especial de China) (Baker, 2017). Ambos hechos muestran que hay oportunidades en esta área para que los recién llegados sigan participando en la carrera.

Bibliografía

- Abu-Mostafa, Y., M. Magdon-Ismail y H. Lin (2012), *Learning from Data: A Short Course*, AMLBook.
- Allen, K. (2015), "How a Toronto professor's research revolutionized artificial intelligence", *The Star*, Toronto, 17 de abril [en línea] <https://www.thestar.com/news/world/2015/04/17/how-a-toronto-professors-research-revolutionized-artificial-intelligence.html>.
- Baker, S. (2017), "Which countries and universities are leading on AI research?", *Times Higher Education*, Londres, 22 de mayo [en línea] <https://www.timeshighereducation.com/data-bites/which-countries-and-universities-are-leading-ai-research>.
- Bakshy, E., S. Messing y L. Adamic (2015), "Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook", *Science*, vol. 348, N° 6239, Washington, D.C., Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, junio [en línea] <https://doi.org/10.1126/science.aaa1160>.
- Bengio, Y., A. Courville y P. Vincent (2013), "Representation learning: a review and new perspectives", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, N° 8, Piscataway, Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, agosto.
- Boureau, Y. L., J. Ponce y LeCun (2010), "A theoretical analysis of feature pooling in visual recognition", documento presentado en la 27^a Conferencia Internacional sobre Aprendizaje Automático, Haifa, 21 a 24 de junio [en línea] <http://www.di.ens.fr/willow/pdfs/icml2010b.pdf>.
- Cacioppo, J. y otros (2013), "Marital satisfaction and break-ups differ across on-line and off-line meeting venues", *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 110, N° 25, Washington, D.C., Academia de Ciencias de los Estados Unidos [en línea] <https://doi.org/10.1073/pnas.1222447110>.
- Caliskan, A., J. Bryson y A. Narayanan, (2017), "Semantics derived automatically from language corpora contain human-like biases", *Science*, vol. 356, N° 6334, Washington, D.C., Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, abril [en línea] <https://doi.org/10.1126/science.aal4230>.
- Center for the Digital Future (2016), *The 2016 Digital Future Report: Surveying the Digital Future, Year Fourteen*, Los Angeles [en línea] <http://www.digitalcenter.org/wp-content/uploads/2013/06/2016-Digital-Future-Report.pdf>.
- Colleoni, E., A. Rozza y A. Arvidsson (2014), "Echo chamber or public sphere? Predicting political orientation and measuring political homophily in Twitter using big data", *Journal of Communication*, vol. 64, N° 2, Oxford, Oxford University Press, abril.
- Goodfellow, I., Y. Bengio y A. Courville (2016), *Deep Learning*, Cambridge, MIT Press.
- Halevy, A., P. Norvig y F. Pereira (2009), "The unreasonable effectiveness of data", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 24, N° 2, Piscataway, Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, marzo-abril.
- Hendershott, T., C. Jones y A. Menkveld (2011), "Does algorithmic trading improve liquidity?", *The Journal of Finance*, vol. 66, N° 1, Hoboken, Wiley, febrero.
- Hilbert, M. y S. Mann (2018), "Artificial intelligence for development: AI4D", Rochester, inédito.
- Hilbert, M., y P. López (2011), "The world's technological capacity to store, communicate, and compute information", *Science*, vol. 332, N° 6025, Washington, D.C., Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, abril [en línea] <https://doi.org/10.1126/science.1200970>.
- Hinton, G. y otros (2012), "Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors", Toronto, Universidad de Toronto [en línea] <https://arxiv.org/abs/1207.0580>.
- Hubel, D. y T. Wiesel (1968), "Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex", *The Journal of Physiology*, vol. 195, N° 1, Hoboken, Wiley.
- Jia, Y., C. Huang y T. Darrell (2012), "Beyond spatial pyramids: receptive field learning for pooled image features", *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Providence, Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos.

- LeCun, Y., Y. Bengio y G. Hinton (2015), "Deep learning," *Nature*, vol. 521, Nº 7553, Washington, D.C., Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, mayo [en línea] <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- Lee, A. (2016), "The meaning of AlphaGo, the AI program that beat a Go champ," *Maclean's*, Toronto, Rogers Media, 18 de marzo [en línea] <http://www.macleans.ca/society/science/the-meaning-of-alphago-the-ai-program-that-beat-a-go-champ/>.
- Metz, C. (2016), "How Google's AI Viewed the move no human could understand," *WIRED*, Boone, 14 de marzo [en línea] <https://www.wired.com/2016/03/googles-ai-viewed-move-no-human-understand/>.
- Mikolov, T. y otros (2013), "Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality," *Advances in Neural Information Processing Systems 26*, C. Burges y otros (eds.), San Diego, Universidad de California [en línea] <http://papers.nips.cc/paper/5021-distributed-representations-of-words-and-phrases-and-their-compositionality.pdf>.
- Naciones Unidas (1948), *Declaración Universal de Derechos Humanos* (A/RES/217(III)), París, diciembre.
- Och, F. (2005), "Statistical machine translation: foundations and recent advances," documento presentado en la Décima Cumbre de Traducción Automática, Phuket, 12 a 16 de septiembre [en línea] <http://www.mt-archive.info/MTS-2005-Och.pdf>.
- Pariser, E. (2011), *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You*, Londres, Penguin Books.
- Pearson, K. (1901), "LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space," *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 6*, vol. 2, Nº 11, Routledge, Taylor & Francis [en línea] <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>.
- Pérez, C. (2009), "La otra globalización: los retos del colapso financiero," *Problemas del Desarrollo: Revista Latinoamericana de Economía*, vol. 40, Nº 157, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) [en línea] <http://www.carlotaperez.org/downloads/pubs/CPLaOtraGlobalizacion.pdf>.
- Ramchurn, S. y otros (2012), "Putting the 'smarts' into the smart grid: a grand challenge for artificial intelligence," *Communications of the ACM*, vol. 55, Nº 4, Nueva York, Asociación de Maquinaria Computacional, abril [en línea] <https://doi.org/10.1145/2133806.2133825>.
- Ricci, F. y otros (eds.) (2011), *Recommender Systems Handbook*, Boston, Springer.
- Russell, S. y P. Norvig (1995), *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Upper Saddle River, Prentice Hall.
- Schreuder, D. (2014), *Vision and Visual Perception: The Conscious Base of Seeing*, Bloomington, Archway Publishing.
- Silver, D. y otros (2017), "Mastering the game of Go without human knowledge," *Nature*, vol. 550, Nº 7676, Washington, D.C., Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, octubre [en línea] <https://doi.org/10.1038/nature24270>.
- Xiong, W. y otros (2016), "Achieving human parity in conversational speech recognition," *Microsoft Research Technical Report*, Nº MSR-TR-2016-71, Redmond, Microsoft Research Publications [en línea] <http://arxiv.org/abs/1610.05256>.
- Yosinski, J. y otros (2014), "How transferable are features in deep neural networks?", *Advances in Neural Information Processing Systems 27*, Z. Ghahramani y otros (eds.), San Diego, Universidad de California [en línea] <http://papers.nips.cc/paper/5347-how-transferable-are-features-in-deep-neural-networks.pdf>.
- Yu, W. y otros (2015), "Learning deep representations via extreme learning machines," *Neurocomputing*, vol. 149, Nº A, Amsterdam, Elsevier, febrero.

La convergencia del mundo físico y el mundo digital configura un ecosistema cuya dinámica redefine el modelo de desarrollo económico y social. En este libro se analizan la Internet de las cosas, las cadenas de bloques y la inteligencia artificial, y su potencial transformador. Se estudian dos elementos habilitantes para su uso: las plataformas digitales globales y la formación de recursos humanos. Se analizan esas y otras tecnologías digitales en las actividades manufactureras y de servicios avanzados, y las empresas de tecnología financiera digital (*fintech*). Se concluye con una reflexión sobre las implicancias de la inteligencia artificial para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La aceleración del cambio tecnológico obliga a América Latina y el Caribe a redoblar esfuerzos en un mundo en que la competencia entre los países líderes en materia de tecnologías digitales se agudiza. La región debe aumentar su compromiso con el desarrollo tecnológico y participar en el debate técnico y político sobre los nuevos modelos regulatorios y fiscales, la seguridad y privacidad de los datos, los estándares y los modelos de negocios que redefinen el patrón de desarrollo. En síntesis, el mundo y la región viven un momento de decisión sobre la gobernanza, no solo de la red, sino del conjunto del sistema económico y social permeado por la digitalización.

La estrategia de América Latina y el Caribe debe ser clara: fortalecer las políticas de innovación, difusión y apropiación de las nuevas tecnologías digitales para avanzar hacia un modelo económico, social y ambiental en línea con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.