



Hecho en América Latina Fabricación inteligente y una nueva esperanza de industrialización en la región

Nicolás Grosman
Hernán Braude
Sebastián Rovira
Alejandro Patiño



NACIONES UNIDAS

CEPAL



eLAC·2022

Agenda Digital para América Latina y el Caribe



대한민국정부

The Government of
the Republic of Korea

Hecho en América Latina

Fabricación inteligente y una nueva esperanza de industrialización en la región

Nicolás Grosman
Hernán Braude
Sebastián Rovira
Alejandro Patiño



eLAC•2022
Agenda Digital para América Latina y el Caribe



Este documento fue elaborado por Nicolás Grosman y Hernán Braude, Consultores, en colaboración con Sebastián Rovira, Oficial de Asuntos Económicos, y Alejandro Patiño, Investigador, de la Unidad de Innovación y Nuevas Tecnologías de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El estudio se realiza en el marco de las actividades del programa de cooperación de 2019 entre la República de Corea y la CEPAL.

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

United Nations publication
LC/TS.2021/111
Distribution: L
Copyright © United Nations, 2021
All rights reserved
Printed at United Nations, Santiago
S.21-00504

Esta publicación debe citarse como: N. Grosman y otros, "Hecho en América Latina: fabricación inteligente y una nueva esperanza de industrialización en la región", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/111), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

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

Índice

Glosario y acrónimos.....	5
Introducción.....	11
I. Fabricación inteligente: un motor para reactivar la productividad	13
A. El imperativo de la productividad en América Latina	13
B. Vanguardia de la fabricación inteligente a nivel mundial	17
II. Situación de la fabricación inteligente en América Latina	21
A. Fabricación inteligente en América Latina: marco de análisis y estudios de caso	26
1. Ecosistema propicio	27
2. Transformación	29
B. Nuevo León 4.0 (México).....	32
C. Centro de Innovación Industrial de Buenos Aires "Centro de Industria X" (Argentina).....	34
D. Manufactura Cohesiva (Colombia)	35
E. Innovacred 4.0 (Brasil).....	36
F. SENAI 4.0 (Brasil)	37
G. Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica (CAIME) (Uruguay).....	38
H. Mind 4.0 (México) y Laboratorio de Innovación Digital (Costa Rica)	40
III. Programa de fabricación inteligente en América Latina	43
A. Fortalecer la sensibilización entre los países de industrialización tardía y los rezagados.....	44
B. Ampliación de la conectividad a las zonas más remotas en beneficio de las empresas manufactureras	45
C. Desarrollo de una cultura de ciberresiliencia.....	46
D. Mejora de la asequibilidad para las pymes	47

E.	Creación de oportunidades para las empresas emergentes y aceleración del desarrollo de soluciones.....	48
F.	Inversión en el desarrollo de la capacidad y las habilidades.....	49
G.	Aumento de la integración y la colaboración entre las principales partes interesadas.....	50
Bibliografía.....		53
Gráficos		
Gráfico 1	América Latina y el Caribe y países seleccionados: productividad laboral en la industria manufacturera frente a la productividad laboral agregada.....	14
Gráfico 2	América Latina y el Caribe y países seleccionados: diferencia entre la productividad laboral en la industria manufacturera y la productividad laboral agregada, 2010-2019	15
Recuadros		
Recuadro 1	¿Qué están haciendo los países punteros para promover la fabricación inteligente?	18
Recuadro 2	Fábricas inteligentes de América Latina y el Caribe	23
Diagramas		
Diagrama 1	Ecosistema propicio	27
Diagrama 2	Consejo Nuevo León 4.0.....	33
Diagrama 3	Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica (CAIME)	39
Diagrama 4	Mind 4.0: asociados y descripción de retos	40

Glosario¹ y acrónimos

Glosario

- **Aprendizaje automático:** Aplicación de la inteligencia artificial. Los sistemas de aprendizaje automático utilizan algoritmos generales para averiguar por sí mismos cómo asociar entradas a salidas, y suelen alimentarse con conjuntos de datos de gran volumen. Estos sistemas pueden mejorar su rendimiento en una tarea determinada a lo largo del tiempo al ir acumulando experiencias y grandes volúmenes de datos, como los macrodatos.
- **Banco de pruebas:** Plataforma o entorno en el que se ponen a prueba de manera rigurosa y replicable las nuevas tecnologías.
- **Computación en la nube:** Acceso bajo demanda a través de la red a un conjunto compartido de recursos de computación configurables, como redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios, que se pueden consultar o aprovisionar rápidamente con el mínimo esfuerzo de gestión o interacción por parte del proveedor del servicio. Los servicios de computación en nube se utilizan a través de Internet para acceder a software, potencias computacionales, capacidad de almacenamiento y similares, en los que se prestan servicios ubicuos y cómodos desde el servidor o el proveedor de servicios. Asimismo, pueden ampliarse o reducirse de escala y utilizarse bajo demanda, y se pagan o bien por adelantado o en función de la capacidad utilizada.

¹ Adaptado en su mayor parte de: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2019. Informe sobre el Desarrollo Industrial 2020. La industrialización en la era digital. Viena.

- Cuarta revolución industrial: Última ola de avances tecnológicos. La primera revolución industrial, que tuvo lugar entre 1760 y 1840, tuvo su origen en la máquina de vapor y se caracterizó por la mecanización de tareas sencillas y la construcción de ferrocarriles. La segunda, ocurrida entre finales del siglo XIX y principios del XX, se produjo con la llegada de la electricidad, las cadenas de montaje y la producción en masa. La tercera, a partir de la década de 1960, estuvo impulsada por el desarrollo de los semiconductores y la informática con computadoras centrales, junto con la introducción de las computadoras personales e Internet. La cuarta revolución industrial se basa en la creciente convergencia entre distintos ámbitos tecnológicos emergentes, como las tecnologías de producción digital, la nanotecnología, la biotecnología y los materiales nuevos y mejorados.
- Diseño y fabricación asistidos por computadora: Utilización de sistemas informáticos (tanto hardware como aplicaciones de software) para diseñar y dibujar esbozos y modelos técnicos, además de para dirigir y controlar herramientas y equipos mecánicos con objeto de fabricar prototipos, productos acabados y series completas de producción. Los sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) permiten construir y visualizar un diseño de manera tridimensional, y facilitan la fabricación pues aportan información sobre los materiales, los procesos, las dimensiones y los niveles de tolerancia. El CAD puede utilizarse por sí mismo o puede incorporarse y proporcionar insumos a otros programas informáticos asistidos por computadora, como los empleados en la fabricación, que controlan la herramienta mecánica que crea o ensambla el producto físico.
- Fábrica inteligente: Planta que emplea sistemas de fabricación inteligente. Se utiliza en general para referirse a la creciente informatización y automatización de las plantas de fabricación.
- Fabricación aditiva: Comúnmente denominado impresión 3D, el uso de impresoras especiales para crear objetos físicos en tres dimensiones a partir de modelos tridimensionales, añadiendo capa tras capa mediante la extrusión de material, la deposición de energía dirigida, la inyección de material o de aglutinante, la laminación de hojas, la polimerización en una cubeta (VAT) y la fusión de lecho de polvo. La fabricación aditiva se contrapone a los métodos de fabricación sustractiva, que utilizan moldes o fresas giratorias para extraer partes de un bloque sólido de material.
- Fabricación avanzada: Sistemas de fabricación empleados en los sectores industriales y la producción industrial, que se caracterizan por el uso de tecnologías asociadas a la cuarta revolución industrial, como las tecnologías de producción digital, la nanotecnología, la biotecnología y los materiales nuevos y mejorados.
- Fabricación inteligente: Aplicación de las tecnologías de producción digital avanzada a la producción manufacturera. La integración de estas tecnologías comprende a los trabajadores, los productos manufacturados, los equipos y la maquinaria involucrados en todas las etapas de producción de un sistema inteligente. Los componentes del sistema interactúan y se controlan entre sí, toman decisiones y ejecutan acciones a través de redes digitales de equipos y sensores interconectados, sobre la base del análisis de datos en tiempo real, el aprendizaje automático, la comunicación de máquina a máquina y otros algoritmos inteligentes.
- Inteligencia artificial: Rama de la informática que trata de simular la capacidad humana para razonar y tomar decisiones. El término suele referirse a las técnicas de inteligencia artificial como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo, las redes neuronales, la lógica difusa, la visión computacional, el procesamiento del lenguaje natural y los mapas

autoorganizados que dotan a las máquinas y los sistemas de capacidades cognitivas similares a las humanas, como el aprendizaje, la adaptación, la percepción y la resolución de problemas. La inteligencia artificial puede definirse como la creación de computadoras inteligentes y capaces de imitar y predecir el comportamiento humano, así como de resolver problemas tan bien o mejor que los humanos.

- **Internet de las cosas:** Próxima iteración de Internet, en la que la generación y el procesamiento de la información y los datos ya no corre a cargo de las personas (como ocurre con la mayoría de los datos creados hasta ahora), sino de objetos inteligentes interconectados que se integran en sensores y computadoras en miniatura y detectan su entorno, procesan los datos y establecen comunicaciones de máquina a máquina. La Internet de las cosas se basa en las interconexiones generadas a través de la red de dispositivos, máquinas y objetos de Internet, cada uno de los cuales puede localizarse únicamente de una forma a partir de los protocolos de comunicación estándar.
- **Macrodatos:** Datos que se caracterizan por su volumen sin precedentes; la frecuencia o velocidad con la que se generan, difunden y modifican; la variedad de fuentes, formatos y grados de complejidad, estén o no estructurados; y la granularidad. Estos datos requieren nuevas formas de procesamiento, que permitan utilizarlos para mejorar la adopción de decisiones y optimizar los procesos. El análisis de los macrodatos hace referencia a las técnicas y tecnologías que permiten generar, almacenar, acceder, procesar y analizar un gran volumen de datos de lectura mecánica a fin de extraer información valiosa (como patrones, correlaciones, tendencias y preferencias) que sirva de base a las organizaciones para tomar decisiones informadas.
- **Máquina a máquina:** Comunicación o intercambio de datos de manera directa entre máquinas, o entre máquinas y dispositivos o componentes. La comunicación de máquina a máquina puede ser de dos tipos: una es la comunicación inalámbrica de máquina a máquina sin intervención humana, y la otra es la comunicación de máquina a móvil y de móvil a máquina entre dispositivos móviles y máquinas. La comunicación en línea de máquina a máquina se basa en tecnologías normalizadas y protocolos y formatos estandarizados. La interconexión de más máquinas capaces de comunicarse se conoce como Internet de las cosas.
- **Robot:** Máquina, programada por computadora, capaz de realizar una serie de acciones más o menos complejas de forma automática. Los robots pueden ser industriales o de servicio. Un robot industrial es un dispositivo manipulador controlado automáticamente, reprogramable y polivalente, de tres o más ejes, fijo o móvil, utilizado en ciertas aplicaciones industriales como los procesos de fabricación (soldadura, pintura y corte) o de manipulación (depósito, montaje, clasificación y embalaje). Un robot de servicio es una máquina que tiene cierto grado de autonomía y se coordina y realiza interacciones complejas y dinámicas con personas, objetos y otros dispositivos (cuando se utiliza, por ejemplo, para la limpieza, la vigilancia o el transporte).
- **Robot colaborador o cobot:** Robot que interactúa físicamente con las personas. Diseñados para aprender nuevas tareas, los cobots incorporan herramientas de cumplimiento pasivo y sensores integrados para adaptarse a las fuerzas externas. Los cobots suelen ser seguros, eficaces en función del costo, fáciles de usar y adecuados para la producción en pequeña escala y los ciclos de producción reducidos. También son portátiles y fáciles de configurar y reconfigurar para diferentes tareas.

- Salas de exposición digitales: Fábricas de aprendizaje y centros de demostración que permiten a las empresas experimentar de manera directa con las soluciones digitales. Se facilita a las empresas y sus empleados un entorno de prueba en el que los expertos les ayudan a familiarizarse con las últimas tecnologías en el ámbito de los procesos de producción simulados.
- Tecnologías de cuarta generación (producción integrada, conectada e inteligente): Uso de las tecnologías digitales con retroalimentación informativa en el seno de la empresa a fin de respaldar los procesos de toma de decisiones (por ejemplo, gestión empresarial con apoyo de los macrodatos y la inteligencia artificial).
- Tecnologías de primera generación (producción rígida): Uso de las tecnologías digitales para un propósito específico dentro de una función concreta (por ejemplo, el uso del CAD para desarrollar los productos).
- Tecnologías de producción digital avanzada: Tecnologías que combinan hardware (robots avanzados e impresoras 3D), software (análisis de macrodatos, computación en la nube e inteligencia artificial) y conectividad (Internet de las cosas). Las tecnologías de producción digital avanzada son la última evolución de las tecnologías digitales aplicadas a la producción; un ámbito tecnológico fundamental asociado a la cuarta revolución industrial. Estas tecnologías facilitan la producción inteligente, también conocida como fábrica inteligente o Industria 4.0.
- Tecnologías de segunda generación (producción esbelta): uso de las tecnologías digitales que vinculan parcialmente dos o más funciones empresariales (por ejemplo, el diseño y la fabricación asistidos por computadoras (CAD/CAM) o la asociación de los procesos de desarrollo a los procesos de producción).
- Tecnologías de tercera generación (producción integrada): Tecnologías digitales que están integradas e interconectadas en todas las funciones empresariales (por ejemplo, las aplicaciones informáticas para la planificación de los recursos institucionales o los sistemas en línea de apoyo a las ventas).

Acrónimos

- ACATECH: Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería (Alemania)
- ANATEL: Agencia Nacional de Telecomunicaciones (Brasil)
- ASDF: Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas
- BID: Banco Interamericano de Desarrollo
- BNDES: Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (Brasil)
- CNI: Confederación Nacional de la Industria (Brasil)
- DNP: Departamento Nacional de Planeación (Colombia)
- FINEP: Financiadora de Estudios y Proyectos (Brasil)
- GAIA: Asociación de Industrias de Conocimiento y Tecnología
- IA: inteligencia artificial
- ICG: Índice de Conectividad Global de Huawei
- I+D: investigación y desarrollo
- LATU: Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Uruguay)
- MICITT: Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (Costa Rica)
- MIIT: Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (China)
- NL4.0: Consejo Nuevo León 4.0 (México)
- OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
- ONUDI: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
- PIB: producto interno bruto
- Pymes: pequeñas y medianas empresas
- SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje (Colombia)
- SENAI: Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial (Brasil)
- TI: tecnologías de la información
- TIC: tecnologías de la información y las comunicaciones
- UIA: Unión Industrial Argentina (Argentina)
- UTU: Universidad del Trabajo del Uruguay (Uruguay)
- 4RI: cuarta revolución industrial

Introducción

La fabricación inteligente guarda relación con la combinación de tecnologías innovadoras, como *software* avanzado, realidad aumentada, sensores, análisis de macrodatos, robotización y fabricación aditiva, que dan lugar a nuevos procesos, sistemas de producción y productos. Estas tecnologías ofrecen una mayor flexibilidad para los procesos industriales, facilitan las decisiones descentralizadas y autónomas, ayudan a fabricar productos personalizados y respaldan la escala de producción. Estos nuevos modelos de innovación en los procesos productivos conllevan numerosas externalidades positivas para las empresas. Sin embargo, de no adoptarse las medidas adecuadas, este nuevo ciclo industrial volverá a convertirse en otra oportunidad perdida para el desarrollo tecnológico de la región.

El grado de incorporación y difusión de las tecnologías avanzadas en el tejido empresarial depende de un conjunto de factores de distinta naturaleza. Estos pueden estar asociados a las características propias de cada empresa, como el tamaño, el sector al que pertenece, la estructura organizativa, los recursos humanos y financieros con los que cuenta, la relación con los clientes y la presión competitiva, entre otros. Asimismo, los factores relacionados con la tecnología que inciden en la adopción son los costos asociados, la disponibilidad de soluciones y la normativa conexas, entre otras razones. El entorno propicio es otro elemento crucial que también repercute en la incorporación de la fabricación inteligente, a través de la disponibilidad de mano de obra cualificada, los incentivos a la inversión y la modernización de las normas y regulaciones para impulsar la innovación, pues estos aspectos afectan y condicionan en gran medida la difusión y apropiación de las tecnologías en las empresas (Rovira, Santoreli y Stumpo, 2013).

Además de los retos que se avecinan, la cuarta revolución industrial supone una importante oportunidad para América Latina y el Caribe. Si bien la pandemia ha acarreado una importante crisis económica y social, también ha fomentado la adopción de nuevas tecnologías en diversas actividades productivas, lo que ha acelerado la innovación y ha modificado los patrones de consumo. Este estímulo puede dar pie al cambio tecnológico, pero el impulso para la adopción de las nuevas tecnologías industriales dependerá de un diseño institucional que fomente la innovación y facilite un entorno propicio para las actividades más intensivas en tecnología.

El presente estudio tiene por objeto analizar el estado actual de las políticas e iniciativas ligadas a la fabricación inteligente en América Latina y servir de inspiración para seguir desarrollando ese tipo de políticas y, al mismo tiempo, detectar los principales problemas institucionales y de coordinación que obstaculizan el cambio tecnológico. Este estudio es el resultado del programa de cooperación anual entre la CEPAL y la República de Corea ejecutado en 2019. Este acuerdo de cooperación tiene por objeto fortalecer las capacidades de los encargados de formular políticas de América Latina y el Caribe para dar una respuesta adecuada a los desafíos derivados de la internacionalización de las pequeñas y medianas empresas, las brechas de productividad y las dificultades para incorporar la digitalización en los procesos productivos, entre otras cuestiones importantes.

El presente informe consta de tres secciones. En la primera parte se examinan los desafíos en materia de productividad en América Latina y el Caribe y sus características estructurales, y se hace especial hincapié en la oportunidad que ofrecen las nuevas tecnologías para superar los retos y las deficiencias. En la segunda sección figura un marco analítico que busca determinar los elementos que influyen en la adopción de las nuevas tecnologías y prácticas relacionadas con la fabricación inteligente. Sobre la base de este marco, el capítulo pasa a examinar un conjunto de iniciativas y estudios de casos sobre la fabricación inteligente, tanto en el sector público como en el privado. En el último capítulo, basado en los estudios de casos de la sección anterior, se presenta un programa con los elementos clave que deberían tenerse en cuenta a fin de promover de manera integral la fabricación inteligente en la región.

I. Fabricación inteligente: un motor para reactivar la productividad

A. El imperativo de la productividad en América Latina

La región de América Latina y el Caribe se enfrenta al enorme desafío de acelerar la productividad y generar más y mejores empleos para promover un desarrollo inclusivo. En las últimas décadas, el crecimiento de la región ha sido inferior al registrado tanto en las economías emergentes como en las desarrolladas. Estos resultados exiguos en términos de crecimiento han estado estrechamente ligados a la naturaleza del crecimiento. Mientras que en las economías emergentes y muy dinámicas el crecimiento ha estado relacionado principalmente con el aumento de la productividad asociado al comportamiento de los sectores que demandan tecnología y conocimiento, en América Latina y el Caribe la mayor parte del crecimiento ha obedecido al aumento de la fuerza de trabajo. Por ejemplo, mientras que en países como China o los Estados Unidos la productividad ha contribuido al 96% y al 64% del crecimiento, respectivamente, entre 2000 y 2019 en América Latina esta cifra apenas llegó al 24% (The Conference Board, 2020).

Desde el año 2000, la productividad total de los factores en la región ha experimentado una tendencia a la baja y su desempeño ha sido uno de los peores del mundo, muy por debajo del dinamismo de otras regiones emergentes. En este sentido, la región aún no ha sido capaz de aprovechar el tirón de las dos grandes olas de transformación de la productividad: la revolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), iniciada en los años noventa, y la más reciente e incipiente "era 4.0". Más allá de los últimos 20 años, en la bibliografía sobre la materia se señala una fuerte discrepancia entre la productividad de la región y la de las economías más desarrolladas y emergentes en los últimos 60 años, que se ha acentuado especialmente desde los años ochenta (The Conference Board, 2020).

El sector manufacturero ocupa un papel central en esta dinámica. A pesar de los indicios de desindustrialización prematura, la industria manufacturera ha seguido siendo uno de los principales empleadores de la región, y concentra el 12,8% del empleo en América Latina y el Caribe y el 12,6% del

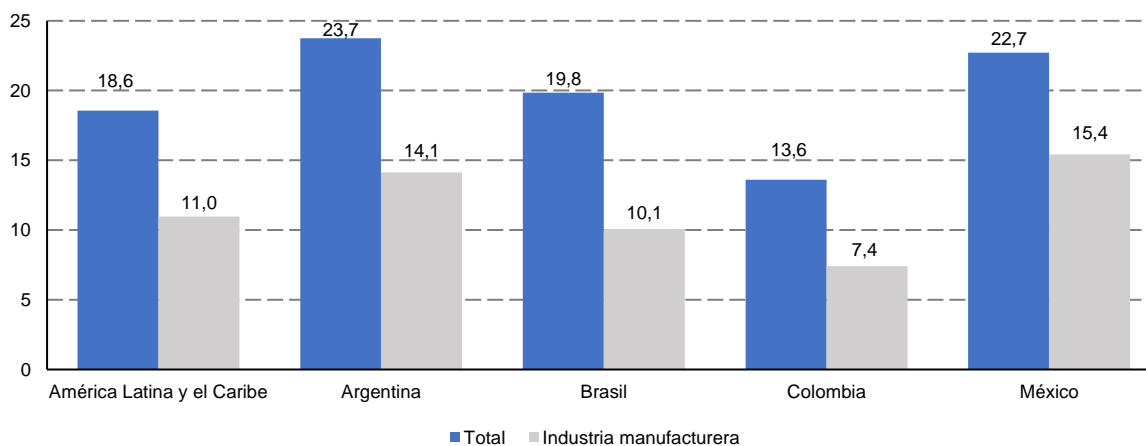
producto interno bruto (PIB) (OIT, 2020). En un país como México, estas cifras ascienden al 16,6% y 17,3%, respectivamente, mientras que en la Argentina el sector representa el 18,7% del PIB (INDEC, 2019) y el 18,8% del empleo total (UIA, 2021a).

La industria manufacturera también desempeña un papel crucial en los flujos comerciales, pues concentra el 45,2% de las exportaciones totales de la región. Por ejemplo, a nivel de los países, esta industria abarca el 80,0% de las exportaciones totales en México, el 31,5% en el Brasil y el 20,8% en la Argentina (INDEC, 2021). Los productos con mayor volumen de exportación son principalmente computadoras, televisores y monitores, camiones y coches pequeños y medianos.

Sin embargo, a pesar de su relevancia económica, la región no ha sido capaz de consolidar un proceso sostenido de industrialización y transformación productiva, sino más bien lo contrario. En los últimos años, el sector ha demostrado un escaso dinamismo y se han observado indicios de desindustrialización. En los últimos cinco años, el empleo en la industria manufacturera de la región ha disminuido a un ritmo del 0,1% anual (OIT, 2020) y, entre 2000 y 2019, su participación en el PIB de la región se redujo del 15,8% al 12,6% (CEPAL, 2021a). En la Argentina, en la actualidad la actividad del sector es un 5% inferior a los niveles observados en enero de 2016 (INDEC, 2021).

Como muestra el gráfico 1, los niveles de productividad de la región siguen siendo considerablemente inferiores a la media de la economía agregada. A nivel regional, la diferencia entre la productividad laboral en la industria manufacturera y la media de la economía alcanza el 69,3%² y llega al 97,1% en un país como el Brasil. Incluso en México, que cuenta con la industria manufacturera más robusta a nivel regional, se observa una importante brecha de productividad (47,4%).

Gráfico 1
América Latina y el Caribe y países seleccionados: productividad laboral en la industria manufacturera frente a la productividad laboral agregada
(En miles de dólares por empleado, 2019)

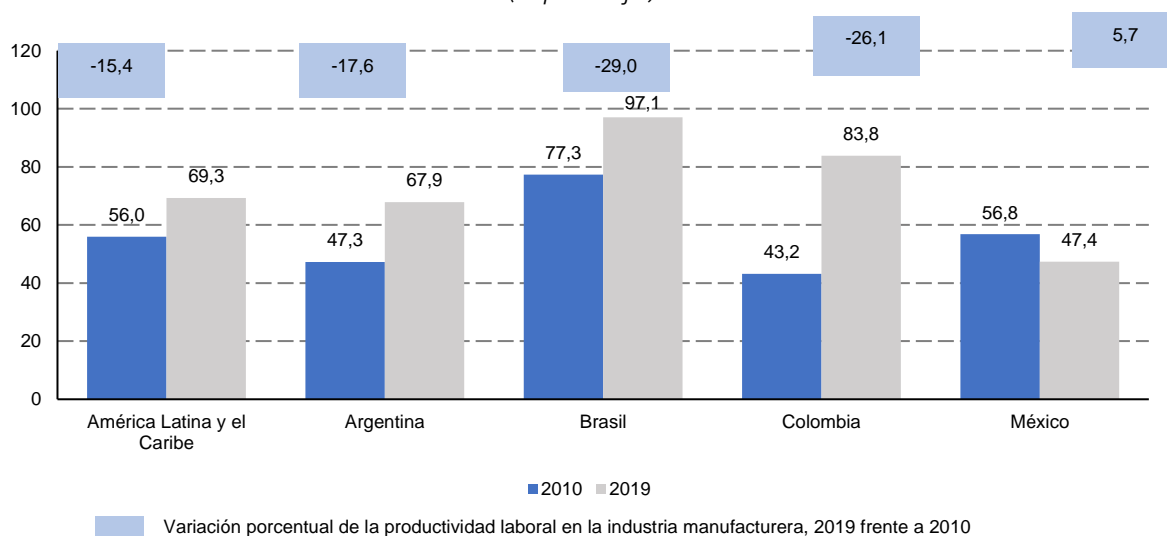


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Organización Internacional del Trabajo (OIT), ILOSTAT [base de datos en línea] <https://ilostat ilo.org/es/> y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/portada.html>.

² Calculado como el porcentaje de productividad laboral en la industria manufacturera que se encuentra por debajo del nivel agregado de la economía.

No es solo que la productividad laboral en la industria manufacturera siga siendo baja. Con la notable excepción de México, la productividad laboral en este sector ha venido disminuyendo. A nivel regional, se redujo un 15,4% con respecto a los niveles de 2010. En consecuencia, se está agudizando la diferencia entre la productividad de la industria manufacturera y la productividad agregada (gráfico 2). Esto también contrasta llamativamente con la dinámica global, ya que la productividad de la industria manufacturera a nivel mundial aumentó a un ritmo del 2,3% anual entre 1992 y 2018. En un país como China, esta cifra alcanza el 9,5% anual.

Gráfico 2
América Latina y el Caribe y países seleccionados: diferencia entre la productividad laboral en la industria manufacturera y la productividad laboral agregada, 2010-2019
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Organización Internacional del Trabajo (OIT), ILOSTAT [base de datos en línea] <https://ilostat ilo.org/es/> y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/portada.html>.

Los malos resultados en términos de productividad están estrechamente relacionados con el rendimiento en lo que respecta a la competitividad del sector. El índice de rendimiento industrial competitivo (ONU DI, 2019b) mide la competitividad con arreglo a tres dimensiones: i) la capacidad de producir y exportar los productos manufacturados, ii) la consolidación y actualización tecnológicas, y iii) la repercusión a nivel mundial. Según este índice, América Latina y el Caribe es la región menos competitiva después de África.

No obstante, dentro de la región se observan diferencias considerables. México, el Brasil, la Argentina y Chile registran los mejores resultados, con clasificaciones que van del puesto 20º (México) al 51º (Chile) de un total de 150 economías. Esto contrasta llamativamente con la situación de muchos países del Caribe, como Haití, Santa Lucía o las Bahamas, que ocupan los puestos más bajos de dicha clasificación y se sitúan entre el 118º (Bahamas) y el 137º (Haití). La consolidación y actualización tecnológicas y la repercusión a nivel mundial desempeñan un papel decisivo en la región: las principales economías obtienen resultados especialmente buenos en esta dimensión (por ejemplo, México ocupa el puesto 17º en cuanto a consolidación y actualización tecnológicas y el 10º en lo que respecta a la repercusión a nivel mundial), mientras que los países rezagados obtienen resultados especialmente malos en ambas.

En este contexto, para reactivar el crecimiento de la productividad y fomentar la creación de empleos de alta calidad, se torna prioritario incorporar las tecnologías 4.0. Los datos apuntan a que la mayoría de las economías innovadoras e industrializadas registran un crecimiento notablemente superior de la productividad del sector manufacturero (ONUUDI, 2019a). Mientras que la productividad laboral de la industria manufacturera a nivel mundial creció un 2,3% anual entre 1992 y 2018, las economías muy industrializadas registraron tasas anuales de crecimiento de la productividad de casi el 3,0%. China, país puntero en tecnologías avanzadas, experimentó un dinamismo aún mayor en el sector manufacturero, con un crecimiento de la productividad laboral del 9,5% anual durante ese mismo período. En cambio, las economías industriales en desarrollo y emergentes (esto es, la mayoría de los países de la región) registraron tasas de crecimiento de la productividad de en torno al 2,0%.

En el ámbito empresarial, la transformación digital puede influir en la productividad y el crecimiento especialmente a través de cuatro mecanismos principales:

- (i) Optimización de las operaciones: la digitalización de los procesos permite optimizar las operaciones empresariales, tanto reduciendo los costos como mejorando la eficacia. Ejemplo: uso de la impresión 3D para producir herramientas personalizadas a escala.
- (ii) Mejora de los procesos de adopción de decisiones: el uso de datos a escala y algoritmos de análisis avanzados permite optimizar la toma de decisiones y mejorar la rentabilidad. Ejemplo: uso de la Internet de las cosas para el mantenimiento predictivo de las máquinas.
- (iii) Aumento de la conectividad: los canales digitales y el uso de herramientas digitales para la comercialización y las adquisiciones permiten ampliar la cartera de clientes y mejorar su captación, así como facilitar el acceso a los proveedores y optimizar la cadena de suministro. Ejemplo: uso del mercado digital para conectar a las empresas manufactureras con los proveedores.
- (iv) Creación de nuevos modelos de negocio: la virtualización de los bienes y servicios y la digitalización de la entrega de los productos fomentan la creación de nuevos modelos de negocio que mitigan los riesgos y mejoran los beneficios. Ejemplo: producción de réplicas digitales para pruebas y simulaciones.

La aparición y difusión de las tecnologías avanzadas también está transformando la naturaleza de la producción manufacturera, al difuminar cada vez más los límites entre los sistemas de producción físicos y los digitales. En este sentido, la creciente automatización y digitalización del sector conlleva importantes reconfiguraciones de la cadena de valor. Principalmente, destaca la sustitución de la dinámica de deslocalización por procesos de deslocalización de proximidad y relocalización, así como la creciente transferencia de valor de la producción al diseño, la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) y los servicios.

En el caso de América Latina y el Caribe, la reorganización de los flujos mundiales brinda una importante oportunidad. El acortamiento de las cadenas de valor, junto con las perturbaciones provocadas por la crisis del COVID-19 y la intensificación de las guerras comerciales (sobre todo entre los Estados Unidos y China) ponen en bandeja una oportunidad propicia para los productores regionales. Actualmente, los Estados Unidos importan de China (principal socio de exportación) un total de 429.000 millones de dólares, y el 91,8% de dichas importaciones son productos manufacturados (ITC, 2020).

Además de aumentar la eficiencia de la producción y reconfigurar las cadenas de valor, las nuevas tecnologías introducen nuevos bienes y servicios en el mercado y dan lugar a nuevas actividades, lo que fomenta la aparición de nuevas industrias y la creación de puestos de trabajo y oportunidades de ingresos. Algunas tecnologías incluso ayudan a suministrar bienes ambientales y a reducir el consumo de energía y materiales, de modo que permiten modelos de producción más sostenibles.

Dos características clave diferencian la fabricación inteligente de los procesos tradicionales de digitalización, a saber: i) la aparición y aceleración de numerosos ámbitos tecnológicos, como las múltiples tecnologías de propósito general, y ii) su complementariedad en la producción, que conduce a la transformación de la producción mediante el uso de sistemas inteligentes integrados (en lugar de a la aplicación de soluciones específicas para digitalizar partes aisladas del modelo operativo).

En ONUDI (2019a) se determinan cuatro ámbitos que integran la transformación de la producción en la cuarta revolución industrial: los nuevos materiales, las nanotecnologías, las biotecnologías y las tecnologías de producción digital avanzada.

Estas últimas abarcan algunas de las tecnologías digitales con mayor potencial para la fabricación inteligente, como la Internet de las cosas, la analítica avanzada y la inteligencia artificial (IA), la fabricación aditiva, la robótica avanzada, la tecnología de cadenas de bloques, la computación en la nube, la realidad virtual y la realidad aumentada, y la navegación autónoma y semiautónoma (también de drones y vehículos), entre otras.

A fin de adoptar de manera eficaz las tecnologías de producción digital avanzada, es necesario integrar tres elementos constitutivos: *software*, *hardware* y conectividad. Las empresas que deseen incorporar las tecnologías 4.0 deben aprovechar los datos vinculados a las actividades del proceso productivo en un sentido amplio, tanto dentro de la empresa como en las relaciones con los proveedores y clientes.

Algunas de las principales aplicaciones de los casos de uso de las tecnologías de fabricación inteligente se concentran en el seguimiento en tiempo real de los pedidos y la logística de los proveedores, los sistemas de desarrollo virtual, la comunicación de máquina a máquina, el seguimiento y la gestión del ciclo de vida de los clientes y la automatización de los procesos empresariales con apoyo de la inteligencia artificial.

B. Vanguardia de la fabricación inteligente a nivel mundial

El panorama mundial de la fabricación inteligente muestra un alto grado de concentración, ya que diez economías punteras abarcan el 91% de las patentes, el 70% de las exportaciones y el 46% de las importaciones mundiales relacionadas con las tecnologías avanzadas en el ámbito del sector manufacturero (ONUDI, 2019a)³. Este grupo no solo lidera la creación de nuevas tecnologías, sino también las ventas e incluso su utilización. Ordenadas en función de sus porcentajes, estas economías son: Estados Unidos, Japón, Alemania, China, Provincia China de Taiwán, Francia, Suiza, Reino Unido, República de Corea y Países Bajos.

Otras 40 economías siguen sus pasos en lo que respecta a la utilización de las nuevas tecnologías, pero en menor grado. Si bien estas economías destacan en alguna dimensión (como la producción o el uso), no obtienen resultados favorables en toda la cadena de utilización tecnológica. Este grupo incluye, por ejemplo, países como Israel, Italia, Suecia o el Canadá. Estas economías abarcan el 8% de las patentes mundiales y casi la mitad de las importaciones de bienes que incorporan estas tecnologías. Las 117 economías restantes comprenden a los países de industrialización tardía y a los países rezagados con poca, muy poca o ninguna actividad en este campo.

Existe una fuerte correlación entre la adopción tecnológica y la intensidad del sector manufacturero. El 63,2% del valor añadido de las actividades de intensidad tecnológica alta y media-alta se concentra en las economías industrializadas, mientras que apenas el 15,3% procede de las

³ Una limitación importante a la hora de evaluar la intensidad de las tecnologías de producción digital avanzada con arreglo a este enfoque radica en que el papel de los servicios no queda debidamente reflejado, debido a la escasa disponibilidad y granularidad de los datos relativos a los servicios en los flujos comerciales mundiales.

economías industriales en desarrollo y emergentes⁴. Por el contrario, el 51,8% del valor añadido manufacturero de baja tecnología se da en las economías industrializadas, mientras que las economías industriales en desarrollo y emergentes aportan el 26,6% del mismo.

Las economías muy industrializadas difieren en el enfoque estratégico adoptado en materia de fabricación inteligente (véase el recuadro 1). Alemania está aprovechando sus capacidades tecnológicas e industriales acumuladas para hacer frente a los desafíos asociados al aumento de los costos laborales y energéticos, la demanda de infraestructuras más modernas y la escasez de personal cualificado (Pfeiffer, 2017). La estrategia del país se ha caracterizado por ser, al mismo tiempo, defensiva, a fin de mantener la producción nacional y aumentar la flexibilidad para responder a las crisis en los mercados internacionales, y ofensiva, a fin de retener las competencias y los conocimientos técnicos que permitan apoyar un modelo impulsado por las exportaciones (Blanchet y otros, 2016).

Recuadro 1

¿Qué están haciendo los países punteros para promover la fabricación inteligente?

- En 2015, China y Alemania acordaron promover de manera conjunta el grado de preparación de sus respectivas economías para la fabricación inteligente y vincularon las iniciativas Hecho en China 2025 e Industria 4.0 a través de un memorando de entendimiento firmado por el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (MIIT) de China y el Ministerio Federal de Economía y Energía de Alemania.
- El Gobierno alemán comenzó pronto a diseñar iniciativas estratégicas y políticas encaminadas a mantener su liderazgo, especialmente en las actividades manufactureras. Esas iniciativas se institucionalizaron en la denominada "Plataforma de Industria 4.0". Dicha plataforma tiene por objeto promover la adopción de las tecnologías 4.0 entre las pequeñas y medianas empresas metalúrgicas (un segmento clave de la competitividad alemana), por medio de iniciativas públicas y privadas. En 2016, en Alemania, el Gobierno, la industria y el mundo científico destinaron una suma sin precedentes de 92.200 millones de euros a la investigación y el desarrollo, lo que equivale al 2,94% del PIB nacional. El número de publicaciones científicas por millón de habitantes no ha dejado de aumentar en los dos últimos decenios; en 2016, se editaron 1.367 publicaciones por millón de habitantes, una cifra superior a la registrada en países como los Estados Unidos o el Japón. La cooperación y la colaboración a nivel mundial entre los diferentes sectores también han desempeñado un papel importante en esta transformación. Los Centros Alemanes de la Ciencia y la Innovación reúnen a los principales actores en el ámbito de la innovación alemana en cinco megalópolis del mundo, a saber: Nueva York, Sao Paulo, Moscú, Nueva Delhi y Tokio.
- Francia busca reactivar esta esfera aumentando la digitalización y la visualización. Asimismo, propicia un ecosistema cada vez mayor de empresas incipientes a fin de renovar la base manufacturera nacional y reposicionarse como líder de la industria, con sujeción a su capacidad para compensar los costos de la mano de obra y las limitaciones sociales conexas (Blanchet y otros, 2016).
- En España, el gobierno del País Vasco puso en marcha la iniciativa Industria Vasca 4.0 (Basque Industry 4.0), que comprende actividades piloto para ayudar a las pequeñas y medianas empresas (pymes) de la región a acceder a actividades de formación sobre las tecnologías de producción digital avanzada asociadas a la industria manufacturera, y a espacios diseñados para el autodiagnóstico y el perfeccionamiento en el ámbito de la fabricación avanzada.
- China se sumó rápidamente a las economías punteras. Si bien las economías muy industrializadas tienden a dominar la categoría de países punteros, China —que se sumó recientemente a la categoría de países de ingreso mediano— es una excepción. El país se incorporó rápidamente al grupo de economías punteras y fue cambiando de manera paulatina su planteamiento en materia de desarrollo industrial: pasó de intentar ponerse al nivel de los demás países a capitalizar el aumento de su capacidad para (re)producir las nuevas tecnologías avanzadas, añadir valor y reforzar el contenido tecnológico, y sustituyó así la estrategia tradicional centrada en la ventaja de costos. China tiene el objetivo de perfeccionar las cadenas de valor, al tiempo que explora nuevas vías de desarrollo sobre la base de las capacidades tecnológicas y productivas que ha ido acumulando de manera sistemática y sostenida durante decenios.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de M. Blanchet y otros, "The Industrie 4.0 transition quantified: how the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model, *Think Act: Beyond Mainstream*, Munich, Roland Berger, 2016.

⁴ Excluida China.

A nivel de los países, la difusión de la tecnología se concentra en unos pocos sectores y empresas. En Europa, dos industrias destacan en lo que respecta a la adopción de las principales tecnologías avanzadas: i) la informática, la electrónica y la maquinaria, y ii) los equipos de transporte. La industria de la informática y la maquinaria es la que más utiliza las tecnologías de computación en la nube e impresión 3D, y se sitúa entre 10 y 15 puntos porcentuales por encima de la media de la industria manufacturera. Por otro lado, el sector de los equipos de transporte es uno de los más destacados en cuanto a computación en la nube e impresión 3D y es el líder indiscutible en lo que respecta al uso de robots industriales.

Un puñado de empresas lideran la incorporación de las tecnologías avanzadas, y todo parece indicar que existe una fuerte división entre las grandes empresas y las pymes. Las grandes empresas tienden a desarrollar una mayor capacidad tecnológica y pueden acceder a mayores reservas de recursos que las hacen más propensas a adoptar las nuevas tecnologías. En las empresas más pequeñas ocurre todo lo contrario. Los estudios realizados sobre el uso de las tecnologías asociadas a la cuarta revolución industrial (4RI) en las pymes de Alemania y la República de Corea sugieren que apenas entre el 18% y el 20% de las empresas las utilizan y están familiarizadas con el concepto (Sommer, 2015). En Europa, tan solo el 6% de las empresas dedicadas a las TIC y de servicios profesionales hacen un uso estratégico e intenso de los datos, y menos del 1% del personal empleado es especialista en datos (Centro Europeo de Estrategia Política, 2017).

II. Situación de la fabricación inteligente en América Latina

Aunque la penetración de Internet en la región ha aumentado de manera notable y proporcional al incremento de los ingresos, la adopción digital en las empresas ha sido limitada. Todavía existen importantes diferencias en el nivel de digitalización entre los países de América Latina y el Caribe y los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), sobre todo en lo que respecta a la digitalización de los procesos productivos, las industrias digitales y los factores de producción, y también se observa un nivel bajo de digitalización en la cadena de suministro. Aunque, por lo general, más del 90% de las empresas a lo largo de dicha cadena tienen acceso a Internet, en algunos países se hace poco uso de los pagos electrónicos (particularmente en el Perú y el Ecuador) y la cantidad de empresas que emplean medios digitales para comprar suministros es limitada (Gallego y Gutiérrez, 2015).

Huawei ha desarrollado un índice para medir los progresos de los países en materia de transformación digital. Su Índice de Conectividad Global (ICG) mide 40 indicadores en dos dimensiones principales, a saber: i) los habilitadores tecnológicos (banda ancha, Internet de las cosas, computación en la nube e IA) y ii) cuatro pilares principales de la digitalización (oferta, demanda, experiencia y potencial). La mayoría de las economías latinoamericanas están muy por detrás de los líderes mundiales en la mayoría de las dimensiones (Huawei, 2020). Chile es el país mejor posicionado en general y ocupa la posición 30ª de un total de 79 economías. Todos los demás países de la región se encuentran en la mitad inferior de la lista. El Brasil se sitúa como la 44ª economía más conectada, seguida de la Argentina (50ª) y México (53ª). Las mayores diferencias se observan en las esferas de la Internet de las cosas, la oferta y la demanda.

En el sector manufacturero, la transformación digital en América Latina y el Caribe aún se encuentra en las etapas iniciales. Según la clasificación de las economías en función de su adopción de las tecnologías de producción digital avanzada, realizada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), ninguna de las economías de la región se inscribe dentro de la

categoría de países "punteros", mientras que tan solo tres países entran en la lista de economías "de segundo nivel" (Brasil, México y Argentina). La mayoría de los países de la región se consideran "de industrialización tardía" o "rezagados" (ONUUDI, 2019a).

Dentro del grupo de países de segundo nivel de la región, se observan diferencias considerables en lo que respecta al perfil de las economías. México y la Argentina se consideran países de segundo nivel en cuanto al uso de dichas tecnologías. El Brasil, por su parte, se presenta como el único país de segundo nivel de la región en el ámbito de la producción. Este país se caracteriza por un conjunto de empresas industriales y proveedores de servicios que conforman la oferta de soluciones digitales de la Industria 4.0 y que, a su vez, pueden clasificarse en tres categorías principales: i) grandes empresas que producen tecnologías instrumentales, ii) empresas integradoras, y iii) empresas emergentes.

Las grandes empresas que producen tecnologías instrumentales (por ejemplo, Siemens) ofrecen sistemas digitales completos o parciales, incluidos los equipos, las máquinas, los sensores y el *software*. Estas empresas operan en prácticamente todos los ámbitos tecnológicos de la Industria 4.0 y han obtenido reconocimiento y experiencia a nivel internacional.

Las empresas integradoras (por ejemplo, Accenture) se centran principalmente en el *software* y la automatización de procesos o equipos específicos (como los robots). En su mayoría, son proveedores de servicios que adaptan y personalizan los programas o desarrollan programas que integran partes de los procesos de producción y gestión de las empresas industriales. Una diferencia importante con las empresas de la primera categoría es que las integradoras no producen las tecnologías.

Por último, las empresas emergentes (por ejemplo, GoEPIK) suelen mostrar su competencia técnica en torno al desarrollo de soluciones parciales y muy específicas, que entrañan la digitalización de los procesos de producción o de los controles de productos. En los últimos años, este segmento ha experimentado un especial dinamismo en el Brasil. La difusión de las oportunidades de negocio, las dificultades para colocar a las personas cualificadas en el mercado laboral y el esfuerzo a nivel nacional para promover y fomentar las empresas emergentes son algunos de los factores que han favorecido el crecimiento de este sector (CNI, 2017).

En cuanto a la adopción de las tecnologías, los datos muestran que los países de la región todavía utilizan de forma marginal las tecnologías digitales avanzadas. En el Brasil, un tercio de las empresas usan tecnologías de tercera o cuarta generación; en la Argentina, lo hacen en torno al 20% de las empresas. Solo el 3,7% de las empresas brasileñas y el 2,9% de las argentinas han adoptado las tecnologías digitales más avanzadas (Kupfer y otros, 2019). El Brasil también alberga las dos únicas fábricas de la región que forman parte de la Global Lighthouse Network del Fondo Económico Mundial (véase el recuadro 2).

En la Argentina, las esferas en las que se ha avanzado menos en cuanto a la utilización de la tecnología más moderna son los procesos de producción, el desarrollo de productos y las relaciones con los proveedores, mientras que en el Brasil son la relación con los clientes y la gestión empresarial.

Una encuesta realizada a un grupo de grandes empresas de Colombia sugiere que entre las tecnologías emergentes que registran una mayor adopción se incluyen la computación en la nube (71,8% de adopción), la inteligencia empresarial (57%), el análisis de datos (49,1%) y la robótica y la automatización (41,8%) (ANDI, 2019). En el Brasil, las principales aplicaciones de las tecnologías avanzadas comprenden la automatización digital combinada con sensores para el control de los procesos (46% de adopción), los sistemas integrados de ingeniería para el desarrollo y la fabricación de los productos (37%) y la automatización digital sin sensores para la fabricación de productos y la gestión empresarial (CNI, 2018).

México registra uno de los mejores resultados en cuanto a la adopción de las tecnologías de producción digital avanzada, y se presenta como el país de la región con mayor potencial en lo que

respecta a la implantación de las tecnologías de la Industria 4.0, además de situarse en el puesto 22º a nivel mundial en términos de estructura productiva (ASDF, 2020). Las tecnologías avanzadas suponen el 40% del valor añadido de la industria manufacturera en México. En cambio, en Chile los productos de alta tecnología apenas representan el 13,7% del valor añadido del sector manufacturero y su rendimiento es inferior al de países como México, el Brasil, Colombia e incluso el Uruguay.

Recuadro 2
Fábricas inteligentes de América Latina y el Caribe

En 2018, el Foro Económico Mundial y McKinsey & Company comenzaron a reconocer a los líderes mundiales en materia de fabricación avanzada en el marco de la "Global Lighthouse Network". Según su definición, esas fábricas modelo o "faros" triunfan "innovando nuevos sistemas de funcionamiento, incluso en la forma de gestionar y optimizar los negocios y los procesos, transformando la manera en que las personas trabajan y utilizan la tecnología". A día de hoy, en la región tan solo 2 fábricas, de las 69 que conforman la red mundial, han conseguido ese reconocimiento: Renault Curitiba y MODEC en Río de Janeiro.

Grupo Renault (Curitiba, Brasil): se adentró en el ámbito de las tecnologías de producción digital avanzada prestando una mayor atención a mejorar la rendición de cuentas de los empleados y la conectividad de extremo a extremo (E2E); involucrar a la fuerza de trabajo, y establecer un ecosistema conectado entre todos los actores que participan en la cadena de valor, incluidos los intermediarios, los clientes y los trabajadores. Los principales casos de uso incluyen la mejora de la conectividad de los clientes a través de una plataforma de comercio electrónico directo entre estos y la empresa (aumento del 10% de las ventas de los modelos seleccionados), la mejora de la conectividad de la fuerza de trabajo (disminución del 19% de las actividades sin valor añadido) y la automatización flexible a través de los vehículos guiados automáticamente y los robots colaboradores (cobots) (reducción del 10% del costo unitario).

MODEC (Río de Janeiro, Brasil): la transformación hacia la producción inteligente se centró en aprovechar la analítica avanzada para el mantenimiento predictivo; desarrollar una réplica digital de su planta de procesamiento, y diseñar una plataforma exclusiva de datos para acelerar el desarrollo y permitir la ampliación de escala exponencial de los nuevos algoritmos en los buques de producción de petróleo. Los principales casos de uso incluyen el desarrollo de una réplica digital (mejora del 65% del tiempo de inactividad en el primer año de funcionamiento), el uso de la IA para acelerar la difusión de las aplicaciones digitales en toda la flota (incremento del 60% la productividad) y la puesta en marcha de un sistema de gestión del desempeño de las personas habilitado digitalmente (mejora del 20% en la salud empresarial).

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Foro Económico Mundial/McKinsey & Company, *Libros Blancos* sobre el proyecto Global Lighthouse Network, 2020 y 2021.

La mayoría de las empresas de la región siguen dependiendo en gran medida de las tecnologías de primera y segunda generación. En la Argentina, de media, el 86% de las empresas utilizan ese tipo de tecnologías, mientras que en el Brasil esa media se reduce al 78% (Albrieu y otros, 2019).

La adopción de las tecnologías avanzadas ha sido muy limitada y dispar entre las empresas. Si bien algunas empresas han logrado aprovechar gran parte de los beneficios de las tecnologías digitales, existe una larga lista de rezagados digitales conformada principalmente por pymes y empresas dedicadas a actividades tradicionales y vulnerables, que suelen estar asociadas a menores niveles de productividad y mayores niveles de informalidad.

En primer lugar, existen importantes diferencias entre los sectores en materia de digitalización. Algunos, como los servicios financieros y el sector de las TIC, suelen abarcar las actividades con el mayor nivel de digitalización, tanto en la región como en otros países del mundo. En el otro extremo hay sectores con notables carencias a nivel digital, como la agricultura, los servicios inmobiliarios o la educación. La industria manufacturera se encuentra en un punto intermedio. Una encuesta llevada a cabo en Colombia indica que, si bien el 63,5% de las empresas cuentan con una estrategia de transformación digital, la cifra se reduce al 54,9% en el ámbito del sector manufacturero (ANDI, 2019).

También se observa una gran heterogeneidad en el marco de las actividades manufactureras. En la Argentina, mientras que sectores como la biofarmacéutica y la automoción registran mayores niveles de digitalización, otras actividades como la maquinaria agrícola, la alimentación o la industria textil se encuentran rezagadas desde el punto de vista de la tecnología. En el Brasil, las actividades manufactureras que registran mayores tasas de innovación están relacionadas con las industrias extractivas, los equipos eléctricos, la telefonía móvil y los productos alimenticios (CNI, 2017). En el lado opuesto de la distribución se encuentran actividades como la madera, los productos de cuero, el textil o los productos de papel.

En México se distinguen tres tipos de sectores en cuanto a su utilización de las tecnologías avanzadas, a saber: i) sectores maduros, como el textil, el calzado, la metalurgia, la madera, los alimentos, las bebidas, etc., ii) sectores dinámicos, como la automoción, las autopartes, el ámbito aeroespacial, la electrónica y la química, y iii) sectores emergentes, como la biotecnología, los productos farmacéuticos, la tecnología de la información (TI), las industrias creativas y los equipos médicos (ASDF, 2020). En Chile, la Industria 4.0 está experimentando un avance notable, no solo en las actividades manufactureras tradicionales, como la alimentación, sino también en los servicios asociados, como el mantenimiento de automóviles (*El Dinamo*, 2019).

Los efectos derivados de las tecnologías 4.0 no beneficiarán a todas las industrias en la misma medida ni al mismo tiempo. En función de la naturaleza de los productos y procesos, existen diversas modalidades de digitalización (CNI, 2017). Por ejemplo, las empresas con productos tradicionales y procesos convencionales tal vez traten de adoptar una estrategia dirigida a transformar los procesos y, posteriormente, pasar a los productos avanzados. En la industria textil, más allá de la revolución en la producción, los nuevos materiales han permitido incorporar componentes tecnológicos a la ropa, lo que podría hacer que los productos tradicionales queden obsoletos. En esos casos, no basta con digitalizar la producción para garantizar la competitividad a largo plazo. En cambio, para las empresas que producen bienes de mayor contenido tecnológico, el camino hacia la digitalización puede ser decisivo.

También existe una importante heterogeneidad a nivel de las empresas. La repercusión de la tecnología avanzada variará en función de las tecnologías adoptadas, el grado de integración y la estrategia empresarial. La transformación de la producción afecta de manera considerable a la estructura interna de las empresas y requerirá, por ejemplo, una mayor flexibilidad y cooperación entre las distintas esferas. Las empresas también tendrán que desarrollar y evolucionar sus modelos de negocio, sobre todo en lo que respecta a la forma de interactuar con los proveedores y los clientes.

La escala parece tener un papel determinante en ese sentido. Mientras que en la Argentina tan solo el 10% de las grandes empresas emplean tecnologías de primera generación, esa cifra asciende al 45% si se tiene en cuenta a las pequeñas empresas (Kupfer y otros, 2019). Por el contrario, mientras que el 34,2% de las grandes empresas afirman utilizar tecnologías de tercera generación, apenas el 12,0% de las pequeñas empresas lo hacen. Esa brecha se mantiene, e incluso se agranda, cuando se tienen en cuenta las tecnologías más avanzadas, ya que el 7,9% de las grandes empresas las utilizan, frente a un escaso 1,5% de las pequeñas empresas.

Las empresas del Brasil con una presencia tecnológica baja y media-baja parecen estar más adelantadas que sus homólogas de la Argentina. Si bien la proporción de empresas con una carga tecnológica alta y media-alta que utilizan tecnologías de tercera generación es similar en ambos países (28% frente al 26%), existen diferencias notables en lo que respecta a las empresas de intensidad tecnológica baja y media-baja. En la Argentina, una cantidad considerable (43,9%) de estas empresas han incorporado las tecnologías de primera generación y tan solo el 6,6% utilizan tecnologías de tercera generación. En el Brasil, un tercio de esas empresas utilizan tecnologías de primera generación, mientras que el 23% han incorporado las tecnologías de tercera generación (Kupfer y otros, 2019).

Existe una correlación positiva entre la adopción de las últimas tecnologías y el acceso a los mercados mundiales. En la Argentina, el 61% de las empresas manufactureras que lideran la adopción de tecnologías avanzadas son exportadoras, mientras que apenas el 23% de las empresas rezagadas lo son (Albrieu y otros, 2019).

Existen numerosas limitaciones que obstaculizan el desarrollo de las tecnologías de fabricación inteligente. En un estudio regional que abarca al Brasil, México, Colombia y Chile (ASDF, 2020), se identifican seis barreras principales para la incorporación de las tecnologías 4.0 en la industria manufacturera, a saber: la cuantiosa inversión requerida; la falta de claridad acerca de la rentabilidad sobre los fondos invertidos; la falta de una cultura apropiada; las dificultades para integrar el nuevo *software* en los sistemas existentes; la falta de una infraestructura de TI adecuada, y la falta de acceso a los recursos financieros.

En la Argentina, la falta de acceso al financiamiento supone la principal limitación vinculante para la adopción de las tecnologías avanzadas en el sector manufacturero (Albrieu y otros, 2019). También hay obstáculos específicos de las empresas que están asociados a la madurez digital. El 40% de los líderes digitales consideran que disponer de una infraestructura digital inadecuada constituye un obstáculo importante. Para las empresas "de segundo nivel" en el ámbito digital, los principales factores que limitan la adopción de las nuevas tecnologías son la cultura empresarial (12% de las empresas manufactureras), el desconocimiento (7,5%), los plazos muy largos para amortizar la inversión (cerca del 10%) y la falta de personal cualificado (en torno al 10%). Por último, entre los rezagados digitales, una de las principales inquietudes radica en la falta de personal cualificado (14%), junto con los plazos excesivamente largos para amortizar la inversión (6%).

Una encuesta realizada por la Unión Industrial Argentina (UIA) sugiere que tal vez se subestime el papel de la concienciación, ya que muchas empresas no reconocen sus carencias a ese respecto, es decir, "no saben que no saben". Cuando se les pregunta por tecnologías específicas, muchas empresas manufactureras admiten no saber de su existencia. Por ejemplo, el 31,7% de esas empresas no han oído hablar de las soluciones nanotecnológicas, mientras que el 24,1% de ellas afirman no conocer las tecnologías de sensores de proceso y el 23,5% no conocen las simulaciones de fabricación digital (UIA, 2020).

La falta de acceso adecuado a los proveedores de soluciones 4.0 también puede desempeñar un papel importante. Tan solo el 21,3% de las empresas manufactureras de la Argentina consideran que es fácil encontrar un proveedor adecuado de soluciones tecnológicas avanzadas. La modalidad escogida también parece depender en gran medida de la red de proveedores, ya que solo el 32,8% de las empresas trabajan con proveedores 4.0 que no conocían o de los que no habían oído hablar antes (UIA, 2020).

Las empresas colombianas se enfrentan principalmente a cuatro obstáculos que frenan la transformación digital: la falta de recursos financieros (59,2%), la falta de una cultura adecuada (57,1%), el desconocimiento (55,4%) y la falta de un modelo de negocio claro (36,5%), al tiempo que el 41,6% de las empresas afirman desconocer las tecnologías emergentes. Incluso dentro de los países que registran una mayor adopción tecnológica se observan importantes dificultades para avanzar en la transformación digital. El 64,3% de las empresas de Colombia no miden el impacto de las inversiones en tecnologías digitales (ANDI, 2019).

A pesar de que la situación actual tiene sus luces y sombras, las expectativas para el futuro siguen siendo optimistas. En la Argentina y el Brasil, el porcentaje de empresas que esperan utilizar tecnologías de tercera y cuarta generación en los próximos 10 años duplica los niveles actuales (en todas las esferas funcionales) (Albrieu y otros, 2019). En cuanto a las prioridades entre las tecnologías maduras, las empresas manufactureras destacan el comercio electrónico (81,7%), las plataformas colaborativas (78%) y la comercialización digital (72,5%).

Sin embargo, las inversiones en tecnologías avanzadas parecen ampliar la brecha digital preexistente entre las empresas. En el Brasil, el 96% de las empresas que tienen intención de invertir en tecnologías 4.0 ya han incorporado al menos una tecnología emergente, mientras que apenas el 7% de las empresas que aún no lo han hecho tienen previsto invertir en este ámbito (CNI, 2018). En lo referente a los objetivos, las prioridades de inversión radican en introducir nuevos procesos de producción (71%), mejorar el proceso de producción actual (65%) e introducir nuevos productos (64%).

Aunque tanto las empresas inversoras como las no inversoras consideran que el aumento de la demanda es un factor clave que determina las decisiones de inversión (el 69% de las inversoras y el 61% de las no inversoras lo perciben como un factor estimulante), las capacidades técnicas son las principales causantes de la disparidad en este ámbito (CNI, 2018). El 53% de las empresas inversoras considera que los factores técnicos actúan como estímulos, mientras que únicamente el 36% de las no inversoras opinan así (el 42% afirma que no tienen repercusión y el 20% los percibe como un factor limitante). La mayoría de las empresas, tanto inversoras como no inversoras, consideran que las regulaciones y los recursos financieros son factores limitantes.

Más allá de las expectativas para el futuro, existen importantes desafíos para su materialización en medidas concretas. Más del 60% de las empresas argentinas y brasileñas afirman que no están tomando ninguna medida para adoptar esas nuevas tecnologías. También se observan diferencias notables en lo que respecta a la proporción de empresas que están adoptando medidas concretas para familiarizarse con las tecnologías 4.0. El porcentaje de empresas que lo están haciendo es tres veces mayor en el Brasil que en la Argentina, si se tiene en cuenta el promedio de las esferas funcionales (Albrieu y otros, 2019).

Las inversiones en la mejora tecnológica están vinculadas a actividades como la investigación y el desarrollo (I+D), las inversiones en capital fijo y la contratación de empresas especializadas en tecnologías digitales. No es de extrañar que las empresas más avanzadas sean las que más invierten en mejorar sus tecnologías. Entre las empresas líderes en materia digital, 3 de cada 4 contratan a empresas especializadas, mientras que tan solo el 21% y el 8% de las empresas de los grupos de "segundo nivel" y "rezagados" lo hacen, respectivamente.

En Colombia, el 66,5% de las empresas dijeron haber invertido en tecnologías digitales en 2018 (ANDI, 2019). Esas inversiones tuvieron los siguientes objetivos principales: automatizar los procesos (91,1%), reducir costos (57,3%) y aumentar la presencia en línea (39,5%), entre otros. En el caso de las empresas manufactureras, el porcentaje de empresas que invierten en tecnologías emergentes es del 54,9% (frente al 70% en el sector de los servicios). Las principales aplicaciones consisten en automatizar los procesos (81,4%), reducir los costos (53,1%), ser disruptivo en su propia industria (43,4%) y generar nuevas fuentes de ingresos (33,1%), entre otras.

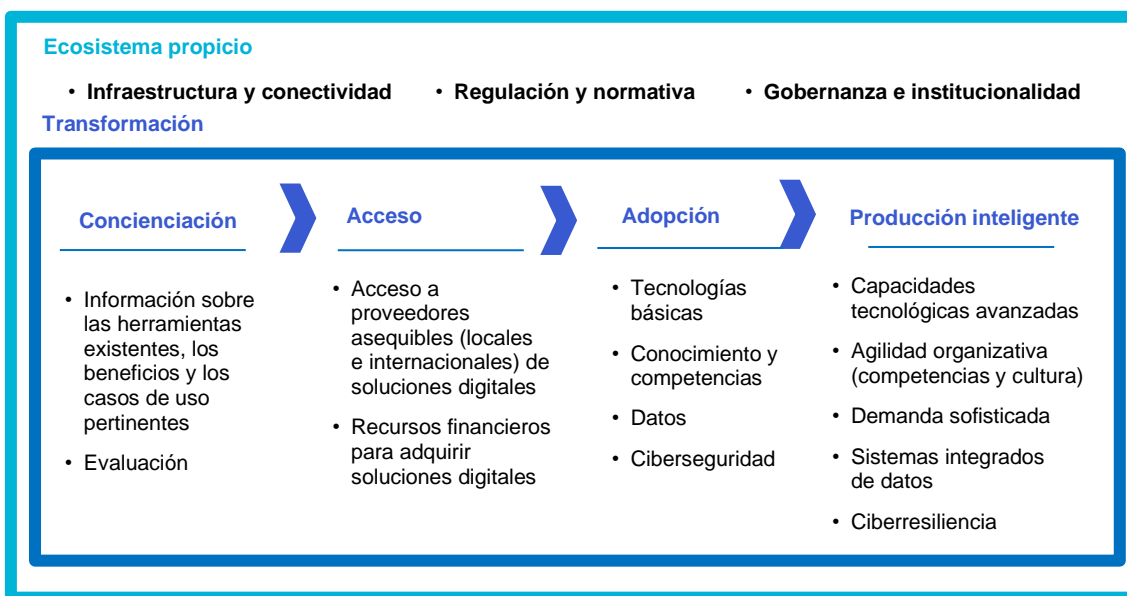
A. Fabricación inteligente en América Latina: marco de análisis y estudios de caso

Tras la experiencia adquirida por los países desarrollados desde finales de la década de 2000 y principios de la década de 2010, los países latinoamericanos han comenzado recientemente a poner en marcha estrategias e intervenciones encaminadas a promover la transformación inteligente de la industria manufacturera y el desarrollo a nivel local de las soluciones de fabricación inteligente. En la presente sección se analizan y describen ejemplos representativos de iniciativas dirigidas a promover la fabricación inteligente en toda la región. Estas iniciativas no solo abarcan ejemplos de políticas públicas, sino también esfuerzos públicos y privados y proyectos privados. En cada caso, se ofrece una descripción detallada de las características más destacables de su diseño, con el fin de que sirvan como referencia en la formulación de políticas.

Las intervenciones se estructuran en dos pilares principales: ecosistema propicio y transformación. El primero hace referencia a los aspectos sistémicos externos a la empresa que condicionan el comportamiento y actúan como requisito indispensable para adoptar soluciones tecnológicas. Principalmente, entraña medidas relacionadas con la infraestructura y la conectividad, la regulación y la normativa, y la gobernanza y la institucionalidad (véase el diagrama 1).

La transformación se refiere a las iniciativas que tienen un efecto directo en el comportamiento empresarial y que contribuyen a facilitar la transición hacia la fabricación inteligente. La transformación abarca cuatro etapas principales, a saber: concienciación, acceso, adopción y producción inteligente.

Diagrama 1
Ecosistema propicio



Fuente: Elaboración propia.

1. Ecosistema propicio

Infraestructura, conectividad, regulación y normativa

La transformación que deben emprender las empresas para adaptarse y aprovechar las tecnologías de fabricación inteligente requiere un amplio conjunto de esfuerzos e inversiones. A su vez, para llevarlos a cabo es necesario que se cumplan una serie de condiciones que no se determinan a nivel de la empresa. El acceso a la infraestructura de conectividad y la definición de un conjunto de reglas que incluyan, entre otras esferas, las normas técnicas, la ciberseguridad, la privacidad de los datos, el comercio digital y la IA, son elementos clave de la gobernanza de la información para alcanzar la fabricación inteligente. Por ejemplo, la fabricación inteligente no puede darse si no se establecen normas tecnológicas para los flujos de información dentro de una empresa y a través de su cadena de proveedores. Estas especificaciones en lo que respecta a los materiales, los productos, los procesos o los servicios son fundamentales para permitir la comunicación entre máquinas, sistemas, *hardware* y *software*. Además, la fabricación inteligente se sustenta en un alto grado de integración en las cadenas de valor y en la gestión de la información personal, lo que aumenta la importancia de la ciberseguridad y las normas de protección de datos. Los conflictos comerciales digitales también podrían repercutir en los servicios, las plataformas y las aplicaciones que propician la fabricación inteligente. La nueva normativa referente a las tecnologías como la IA (a través de regulaciones, normas u otros medios)

también afectará a la fabricación inteligente. Esos componentes podrían definir las oportunidades para la fabricación inteligente y el advenimiento de la Internet de las cosas en la industria (Belton y otros, 2019).

En lo que respecta a la conectividad, el despliegue de las redes móviles de quinta generación (5G) supone un proceso transformador para los modelos de fabricación y organización industriales gracias a algunas características como la mayor velocidad de transmisión (hasta 20 gbps), la baja latencia ultraconfiable (menor a un milisegundo), la mayor seguridad de la red, las comunicaciones masivas entre máquinas y la eficiencia energética de los dispositivos. El despliegue de esas redes permitirá ampliar los servicios inalámbricos de banda ancha, con baja latencia y gran confiabilidad para respaldar aplicaciones clave y usos innovadores en prácticamente todas las industrias (CEPAL, 2021).

En los últimos años, algunos países de la región han reformado los marcos reglamentarios de sus mercados de telecomunicaciones a fin de facilitar y promover las inversiones que amplíen geográficamente el acceso a Internet (lo que reviste especial importancia para las cadenas de valor situadas fuera de los principales cinturones industriales) y sienten las bases para implantar la tecnología 5G. Por ejemplo, en el marco de los esfuerzos ligados a la Ley 1341 de 2019 (Ley relativa a las TIC), Colombia sancionó la Ley 1978 de 2019, por la cual se moderniza el sector de las TIC. Para ello, se sirvió de los buenos resultados obtenidos en el anterior Plan Vive Digital⁵. Esa medida se complementó con mecanismos de subasta e iniciativas como "Hogares conectados" y "Centros digitales", que tuvieron por objeto reducir la brecha digital facilitando el acceso a Internet en las zonas rurales y los sectores sociales más desatendidos. A pesar de ese impulso, los avances en torno a la conectividad de las zonas más remotas han sido limitados y se han centrado exclusivamente en los hogares. Entre las reformas introducidas, la Ley amplió el plazo de los permisos para utilizar el espacio radioeléctrico, facilitó su renovación y creó una entidad reguladora única.

El Brasil sancionó en 2019 la Ley 13.879, en virtud de la cual se autoriza a la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL) a convertir las concesiones de telefonía fija en autorizaciones, lo que permite flexibilizar las obligaciones relativas a la universalización de este servicio a cambio de compromisos de inversión en servicios de banda ancha.

Chile fue el primer país de la región en poner en marcha licitaciones del espectro 5G. La norma 5G influiría de manera considerable en la posibilidad de aprovechar el potencial de las tecnologías 4.0. En efecto, permitiría proporcionar una alta velocidad de transmisión y reducir el riesgo de que se produjeran cuellos de botella al transmitir una gran cantidad de datos, algo que reviste aún más importancia en el contexto de la transferencia de información a la nube. Asimismo, la 5G facilitará las conexiones de baja latencia, un aspecto fundamental para lograr un entorno dominado por las interacciones de máquina a máquina, entre otros aspectos que también abarcan el aumento de los parámetros de ciberseguridad (Álvarez Corrada, 2020). Los resultados de la licitación convocada en Chile dieron lugar a una recaudación de 453 millones de dólares, muy por encima de los valores correspondientes a las licitaciones anteriores; y se estableció un plazo máximo de tres años para iniciar las operaciones. Se estima que en los próximos cinco años se invertirán cerca de 4.000 millones de dólares (Subsecretaría de Telecomunicaciones, 2021).

Algunos países como la Argentina, el Brasil, Colombia, Costa Rica, México y el Uruguay han comenzado a realizar pruebas técnicas en los últimos meses y se encuentran en distintas etapas del período previo a la licitación, previsto para este año o para 2022. Algunos de los aspectos centrales del debate actual están relacionados con distintas alternativas como el establecimiento de una única red utilizada por diferentes operadores, una red "puramente" 5G (esto es, que no considere la infraestructura 4G preexistente) y una red exclusiva para organismos gubernamentales.

⁵ Centrado principalmente en reforzar la conectividad geográfica.

Gobernanza e institucionalidad

Las políticas públicas que promueven la fabricación inteligente abarcan un amplio abanico de iniciativas, que entrañan la coordinación de múltiples actores tanto en la esfera de los aspectos sistémicos —externos a la empresa— como en la de los elementos que afectan directamente al comportamiento empresarial. Por consiguiente, la complejidad del reto hace necesario disponer de mecanismos institucionales que ayuden a coordinar los esfuerzos, de forma que, en su conjunto, permitan poner en marcha una estrategia coherente y evitar superposiciones innecesarias, indicios contradictorios o secuencias inapropiadas que reduzcan el rendimiento de las inversiones públicas y privadas.

Una cuestión clave relacionada con la elaboración de políticas en materia de fabricación inteligente es la difusión de la tecnología. Como se ha mencionado anteriormente, en América Latina y el Caribe esta inquietud es aún mayor debido a la heterogeneidad estructural. Un aspecto fundamental radica en mejorar las iniciativas científicas y tecnológicas con propuestas de valor innovadoras que tengan una alta probabilidad de éxito. Otra cuestión es aumentar la adopción de la tecnología en las empresas ya establecidas que afrontan algún tipo de restricciones (como las pymes). Estas problemáticas requieren diferentes instrumentos de políticas, por lo que es preciso adoptar un enfoque coherente.

Un grupo importante de países de América Latina y el Caribe ya disponen de agendas digitales a nivel nacional. Sin embargo, estos instrumentos aún carecen de ciertas características de diseño necesarias para garantizar sus buenos resultados, como una entidad que se encargue de dirigir dicha agenda con un nivel de jerarquía apropiado, un presupuesto explícito y mecanismos institucionales de coordinación con el sector privado. Asimismo, se necesitan instrumentos estratégicos específicos para orientar la transformación digital del sector productivo y la adopción de las tecnologías emergentes. No obstante, algunos países están empezando a encabezar algunas iniciativas, como el Plan Nacional de la Internet de las Cosas del Brasil, el Centro para la Cuarta Revolución Industrial de Colombia y el Laboratorio de Fabricación Digital del Uruguay (OCDE y otros, 2020).

2. Transformación

Concienciación

El primer desafío al que se enfrentan las iniciativas destinadas a promover la fabricación inteligente es el grado de sensibilidad a esa agenda por parte de los actores involucrados. La inestabilidad macroeconómica de toda la región, junto con la disminución de la demanda experimentada en los últimos años, amenazan las inversiones a largo plazo. Además, la escasa inserción en las cadenas globales de valor refuerza la percepción de que la transformación 4.0 representa un problema lejano del "mundo desarrollado" o que tan solo afecta a la élite empresarial.

Las empresas que tienen previsto comenzar su proceso de transformación, sobre todo las pymes, suelen carecer de la información y los conocimientos necesarios para distinguir sus necesidades y oportunidades, así como para medir el impacto de las nuevas tecnologías. Esto obstaculiza tanto la optimización adecuada de la cartera de inversiones como la capacidad de evaluar a los proveedores.

En respuesta, varios países de la región comenzaron a poner en marcha diferentes iniciativas dirigidas a concienciar sobre el potencial de las soluciones de fabricación inteligente y sus correspondientes aplicaciones. Además de la organización de conferencias y seminarios, una de las formas de intervención más extendidas ha consistido en suministrar herramientas de autodiagnóstico, que permiten a las empresas hacerse una primera idea de su situación a un costo muy bajo y comparar sus resultados con los de otras empresas homólogas. Algunos ejemplos de este enfoque son la herramienta de autodiagnóstico SENAI 4.0 del Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial (SENAI) (que actúa como punto de entrada al programa que se describe en detalle más adelante) y la herramienta diseñada en la Argentina en el marco de INDTEch 4.0, una iniciativa público-privada que actúa como

centro de colaboración para la transformación inteligente de las pymes del sector manufacturero. Otra iniciativa similar es la herramienta "Chequeo Digital", desarrollada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que ya se ha implantado en Chile en más de 4.000 empresas. A pesar de las similitudes, esta herramienta se centra más en las pymes del sector de los servicios que en las de la industria manufacturera, que representan un pequeño porcentaje de los casos.

Las fábricas de demostración muestran una serie de nuevas tecnologías digitales en procesos de producción simulados, y se inspiran en los centros de competencia Mittelstand 4.0 de Alemania y en los campos de demostración que suelen formar parte de las estrategias de extensión agrícola. Estas instalaciones suelen mostrar un amplio conjunto de tecnologías y, principalmente, se centran en explicar de manera más tangible los efectos de las tecnologías a quienes no las usan.

Acceso

El acceso a las nuevas tecnologías y soluciones es una condición indispensable básica para la transformación inteligente de las empresas manufactureras. Para ello, es necesario que existan proveedores de soluciones (ya sea a nivel local o mundial), se sepa de su existencia, se disponga de información sobre la calidad de su servicio y, por último, se cuente con la capacidad económica y financiera necesarias para costear dicha solución.

Las iniciativas destinadas a reforzar la cartera de soluciones locales se centran tanto en respaldar los proyectos de innovación como en promover la ampliación de escala de las empresas emergentes. Un buen ejemplo de lo primero es la convocatoria organizada recientemente por la Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP) del Brasil para presentar proyectos de innovación que se centraran específicamente en los ejes de la Industria 4.0, la Agricultura 4.0, la Salud 4.0 y las ciudades inteligentes. La convocatoria estuvo dirigida a proyectos de entre 100.000 dólares y un millón de dólares, aproximadamente, y contó con un presupuesto total de 10 millones de dólares. Se recibieron 1.190 propuestas; de ellas, 309 se consideraron meritorias y se concedió financiación a 26. Casi el 90% de las propuestas aprobadas procedían de pymes, y el 74% incluían una asociación con una entidad del subsistema científico-tecnológico. La IA, la computación en la nube y la Internet de las cosas fueron algunas de las principales tecnologías instrumentales empleadas en los proyectos finales, mientras que la robótica avanzada tuvo menos protagonismo.

Otro ejemplo en esta línea es el programa "Producción Colaborativa de la Economía del Conocimiento", dirigido por el Ministerio de Desarrollo Productivo de la Argentina. Dicho programa tiene por objeto crear alianzas entre las empresas, o entre estas y las universidades o los institutos tecnológicos, en las que cada socio debe ser experto en al menos una de las actividades a las que se da prioridad en la Ley de Economía del Conocimiento. Esa ley, aprobada el año pasado tras la finalización de la anterior Ley de Promoción de la Industria del Software, contempla un espectro más amplio de actividades que pueden solicitar reducciones fiscales, entre las que se encuentra la producción de tecnologías para la Industria 4.0. El programa ofrece préstamos subvencionados a proyectos innovadores por un valor máximo de aproximadamente 500.000 dólares. La primera convocatoria recibió 45 propuestas, de las cuales 17 incluían al menos un socio que utilizaba o esperaba utilizar una de las siguientes tecnologías: impresión 3D, realidad aumentada, robótica y automatización de procesos.

Las iniciativas tradicionales suelen incluir la creación de plataformas en línea que actúan como catálogo de proveedores digitales o mercados entre empresas. Los enfoques más innovadores entrañan, por ejemplo, la creación de instrumentos y aptitudes centrados en la prestación de servicios, como los integradores tecnológicos. Los integradores tecnológicos son agentes intermediarios que desempeñan un papel fundamental en la difusión de las nuevas tecnologías, tal y como hacen los centros de servicios y los contratistas en el sector agrícola (Lódola, 2008). Manejan un amplio abanico de opciones tecnológicas, se mantienen al tanto de las alternativas disponibles y adaptan los planes de implantación a las necesidades concretas de las empresas.

Las condiciones económicas y financieras para acceder tanto a las nuevas tecnologías como a los servicios de estos agentes intermediarios pueden suponer un obstáculo importante. El Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social del Brasil (BNDES) puso en el mercado dos líneas de crédito con el objetivo de impulsar la adopción de las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0, a saber: Finame Máquinas 4.0¹¹ y Serviços 4.0. Finame Máquinas 4.0 ofrece financiación para adquirir máquinas y equipos que empleen tecnología 4.0, y se aplica junto con una serie de productos acreditados. Por su parte, Finame Serviços 4.0 tiene por objeto financiar soluciones tecnológicas que empleen tecnologías 4.0 y está abierto a la acreditación de servicios por parte de las empresas proveedoras. Además de los regímenes tradicionales para subvencionar las inversiones, pueden estudiarse otras alternativas innovadoras que se ajusten a las características específicas de las nuevas tecnologías. Un ejemplo es la innovación comercial introducida por las filiales de Siemens, que han transformado algunos tipos de *software*, como su sistema de ejecución de fabricación, y han pasado de un enfoque en el que los programas informáticos se ven como productos a otro en el que se ven como servicios.

Adopción

La transformación hacia la fabricación inteligente tiende a concebirse en las etapas iniciales como un proceso de modernización tecnológica. En esta fase, las medidas que deben adoptar las empresas son menos específicas y suelen exigir una mejora en la organización de los procesos de producción, así como la incorporación de tecnologías y competencias no personalizadas. En esta esfera, son fundamentales las iniciativas que facilitan la formación y el acceso al conocimiento fuera de la empresa.

Asimismo, cobra una mayor importancia el diseño de procesos que maximicen el rendimiento de los fondos invertidos. Para ello, es necesario segmentar las necesidades de las distintas empresas a fin de asignar los recursos en consonancia. El autodiagnóstico y los diagnósticos más detallados constituyen herramientas que permiten aumentar la difusión a un bajo costo y que contribuyen considerablemente al proceso de segmentación. También es fundamental diseñar planes de acción que permitan secuenciar las inversiones de manera inteligente. Esto no solo implica favorecer un mejor uso de las tecnologías y, por tanto, de los recursos invertidos, sino también reforzar la convicción de las instancias decisorias en lo que respecta a la transformación emprendida.

Para ello, varios países están empezando a utilizar una herramienta de autodiagnóstico financiada por el BID (Chequeo Digital). Por ejemplo, Chile pretende utilizarlo para orientar su oferta de formación, mientras que Costa Rica tiene previsto complementarlo con un programa piloto de asistencia dirigido a 100 empresas. En la Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial está llevando a cabo un proyecto piloto para el diagnóstico y la elaboración de planes de acción para las empresas que se dedican a determinadas actividades industriales.

Más allá de las herramientas de diagnóstico, diferentes países han creado nuevos centros, o han reforzado los existentes, con el fin de formar a las nuevas generaciones de trabajadores industriales y capacitar a la fuerza de trabajo actual en el manejo de las nuevas tecnologías. Esas iniciativas abarcan tanto intervenciones de carácter público como otras conjuntas entre los sectores público y privado. Es el caso del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) de Colombia. A través de una alianza estratégica establecida con Siemens, el SENA creó la Fábrica Didáctica 4.0, cuya sede se encuentra en el Centro de Diseño y Metrología de Bogotá. Otras iniciativas similares se han puesto en marcha en México, donde una red de centros de innovación industrial, financiada por el Programa para el Desarrollo de la Industria del Software (PROSOFT), tiene por objeto combinar las instalaciones de formación con las capacidades de asistencia técnica.

Producción inteligente

La transformación hacia la producción inteligente va mucho más allá de la adopción de soluciones tecnológicas a lo largo del proceso operativo. Para convertirse en una empresa 4.0 es necesario cambiar sustancialmente el conjunto de competencias requeridas por la empresa, así como introducir ajustes en su estructura orgánica y su cultura. El mayor protagonismo de los sistemas integrados de datos y la transformación de la fábrica en un espacio ciberfísico pone de relieve la importancia de la ciberseguridad en toda la empresa, tanto a nivel interno como en su interacción con los proveedores y los clientes.

Esa transformación también entraña invertir sumas cuantiosas en el diseño de soluciones tecnológicas más personalizadas. Esto suele precisar un mayor nivel de intensidad en los esfuerzos de desarrollo tecnológico, así como la adopción de estrategias de innovación abierta en las empresas emergentes y las instituciones del ecosistema científico-tecnológico.

Es necesario reconocer que el nivel de incorporación de las tecnologías 4.0 en la mayoría de las empresas de América Latina obedece, en parte, a las estrategias de competitividad natural de determinados sectores y a ciertos obstáculos. No obstante, esa adopción parece ser algo más que una realidad binaria. En la mayoría de los casos, y especialmente entre las pymes, lo normal suele ser la adopción parcial, también entre las empresas manufactureras. Si bien esto está lejos de la fábrica automatizada ideal, el objetivo de las políticas debería tener en cuenta que, entre las empresas, lo más habitual es ir adoptando esas tecnologías de manera gradual (Albrieu y otros, 2019; Motta, Morero y Ascúa, 2019).

A fin de brindar información sobre las posibilidades, los conflictos y los principios que pueden ayudar a configurar y respaldar las políticas en este ámbito, a continuación se examinan un conjunto de actividades relacionadas con la promoción de la fabricación inteligente.

B. Nuevo León 4.0 (México)

Alcance: subregional

Tipo de iniciativa: público-privada

Organización principal: Secretaría de Economía y Trabajo y sector privado

Descripción: organización institucional para determinar las prioridades y coordinar las iniciativas dirigidas a promover la fabricación inteligente

Dimensiones clave: gobernanza

El Consejo Nuevo León 4.0 (NL4.0) se puso en marcha en 2017 como una iniciativa impulsada por el sector privado que se basó en el Consejo Estatal para la Planeación Estratégica, cuya comisión de desarrollo económico está presidida a día de hoy por uno de los representantes de la industria en el órgano rector del NL4.0. Esta iniciativa encarna un modelo institucional diseñado para coordinar las medidas adoptadas por los diferentes actores del ecosistema de la Industria 4.0.

NL4.0 cuenta con un consejo rector compuesto por autoridades estatales, representantes del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, empresarios y autoridades de las principales universidades locales. Su labor se organiza en torno a 9 grupos de trabajo, en los que participan investigadores expertos, tecnólogos industriales, representantes de grupos temáticos y técnicos de los gobiernos estatales y federales.

Diagrama 2
Consejo Nuevo León 4.0



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información del Consejo Nuevo León 4.0.

Los grupos se estructuran en torno a los siguientes temas: ética humanista, políticas públicas, desarrollo del talento, alianzas estratégicas, infraestructura tecnológica, nuevos modelos de negocio, colaboración proactiva, invitación a la acción y estructura comunicativa. El grupo de trabajo encargado de las políticas públicas, por ejemplo, se centra en determinar y eliminar los obstáculos legales y administrativos que dificultan la transformación tecnológica, mientras que el grupo de trabajo encargado de las alianzas estratégicas tiene como objetivo negociar condiciones de acceso favorables con los proveedores de soluciones globales.

La estrategia llevada a cabo por NL4.0 se ha concretado en un conjunto de medidas y programas que han recibido financiación pública y privada. Estas medidas y programas comprenden iniciativas de concienciación dirigidas a los empresarios y los trabajadores en torno a las soluciones 4.0, el diseño y la puesta en marcha de nuevos centros y programas de formación, la asistencia técnica para la transformación industrial 4.0, los centros de innovación o la aceleración de las empresas emergentes, por citar algunos ejemplos.

Entre las iniciativas de concienciación se encuentran eventos y plataformas para divulgar casos de uso sobre tecnologías y experiencias positivas, simposios con líderes sindicales y la concesión del premio Tecnos 4.0, financiado por la Secretaría de Economía y Trabajo, que tiene por objeto reconocer las soluciones 4.0 a pequeña, mediana y gran escala⁶. Una de las iniciativas más destacadas relacionadas con el desarrollo del talento consiste en un esfuerzo conjunto entre dicha Secretaría y la empresa alemana Festo. Esta iniciativa tiene el objetivo de formar a 4.000 estudiantes (a nivel técnico) y a 600 docentes en cuestiones relacionadas con la Industria 4.0, y supondrá una inversión de 6 millones de euros. El enfoque es muy interactivo y se basa en el uso de juegos para enseñar competencias.

⁶ Tanto si se encuentran en la fase de ejecución como en la de desarrollo.

El grupo Apóstoles 4.0 respalda el proceso de transformación emprendido por las pymes hacia la fabricación inteligente. La asistencia técnica define y prioriza los problemas afrontados por las empresas manufactureras de pequeño y mediano tamaño y, posteriormente, ayuda a determinar y codiseñar soluciones. La iniciativa NL 4.0 también abarca la coordinación de una red de centros de innovación ubicados en las universidades que participan en el Consejo. Estos centros de innovación se especializan en tecnologías 4.0 básicas, como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial. Por último, MIND 4.0⁷ es un programa de aceleración industrial que fomenta el acceso a soluciones innovadoras vinculando a las empresas emergentes con las necesidades de las grandes empresas manufactureras.

C. Centro de innovación industrial de Buenos Aires "Centro de Industria X" (Argentina)

Alcance: nacional

Tipo de iniciativa: privada

Organización principal: Unión Industrial Argentina (UIA) y Accenture

Descripción: centro de innovación que funciona como sala de exposición de nuevas tecnologías y brinda información, capacitación y asistencia técnica

Dimensiones clave: concienciación – adopción

El Centro de Industria X, inaugurado a finales de 2020, es el resultado de una alianza entre la UIA y la filial local de Accenture. La iniciativa se puso en marcha tras un diagnóstico en el que se señalaron los bajos niveles de integración entre la industria manufacturera y los servicios tecnológicos a nivel nacional. En 2018, la UIA participó en un estudio financiado por el BID, en el cual se realizaron encuestas a más de 300 empresas industriales con el fin de recabar información sobre la adopción de las tecnologías inteligentes y sus modelos de negocio.

El centro de Buenos Aires se suma a una red de 15 centros de innovación de la Industria X repartidos por todo el mundo. La Red de Innovación de la Industria X está dirigida por una empresa estadounidense que recientemente adquirió Pollux⁸ y Wolox⁹. El centro de Buenos Aires no solo es el primero de este tipo en América Latina y el Caribe, sino que también es el primero en el que un sindicato empresarial desempeña un papel destacado en la esfera de la gobernanza. El centro se ubica en la tercera planta del edificio de la UIA, y la asociación no solo corre con los gastos de uso y mantenimiento de los espacios, sino que también sufraga parte del equipo directivo, que cuenta con un Director General nombrado por Accenture y un jefe de proyectos elegido por la UIA.

La iniciativa tiene por objeto facilitar la absorción de las tecnologías emergentes y apoyar el proceso de transformación digital mediante la provisión de información, capacitación y asistencia técnica a las empresas. El centro les permite experimentar los efectos de las demostraciones del potencial de las nuevas tecnologías, que incluyen, por ejemplo, las soluciones de automatización integral, la simulación de ciberataques y posibles estrategias de mitigación, el análisis de vídeo y el reconocimiento facial e incluso el uso de réplicas digitales para proporcionar visibilidad predictiva en tiempo real sobre el rendimiento operativo a fin de detectar los posibles riesgos y formular recomendaciones a ese respecto. La visita está guiada por especialistas de Accenture con experiencia en la ejecución de proyectos de transformación y por personal proporcionado por la UIA.

⁷ Inspirado en la iniciativa BIND 4.0, ejecutada en el País Vasco.

⁸ Empresa brasileña con presencia regional que ofrece soluciones de automatización y robótica industrial.

⁹ Empresa argentina especializada en soluciones basadas en la nube.

El circuito de demostración física se complementa con otras medidas de concienciación, como una serie de seminarios destinados, por ejemplo, a presentar experiencias positivas relacionadas con la adopción de distintas tecnologías o explicar al personal docente de las escuelas técnicas las características y el potencial de las nuevas tecnologías.

El centro aspira a convertirse en un espacio de colaboración que facilite el proceso de transformación de las pymes y proporcione una plataforma para vincular la demanda con la oferta de soluciones y formar una red de expertos en materia de fabricación inteligente que puedan prestar servicios de conserjería tecnológica.

La iniciativa precisó una inversión de 500.000 dólares para adaptar las instalaciones e incorporar el equipamiento necesario, incluidos diversos programas informáticos, sensores y dispositivos de realidad virtual y realidad aumentada, entre otros. Accenture absorbió esta inversión, además de suministrar el talento necesario para guiar las demostraciones e impartir formación a los facilitadores de la UIA para tal fin. Por su parte, la UIA proporciona el espacio físico, financia los gastos de funcionamiento y, sobre todo, facilita la capilaridad y el acceso a las empresas manufactureras a través de su red de entidades asociadas.

D. Manufactura Cohesiva (Colombia)

Alcance: mundial

Tipo de iniciativa: privada

Organización principal: Manufactura Cohesiva

Descripción: empresa emergente dedicada al *software*

Dimensiones clave: acceso

Manufactura Cohesiva es una empresa emergente colombiana que se fundó en 2019 con el apoyo de Ruta N de Medellín. Su objetivo radica en desarrollar motores tecnológicos (en la nube y en la web) para la especificación, ejecución y seguimiento sencillos de los trabajos relativos al sector manufacturero. La empresa, que se basa en entornos tridimensionales y en la capacidad de interactuar en tiempo real, permite que las empresas manufactureras expongan sus necesidades en materia de mecanizado, forja, electroerosión e impresión 3D. La plataforma permite compartir los detalles técnicos del diseño, así como recibir ofertas de posibles proveedores. Al mismo tiempo, el *software* funciona como un entorno de diseño colaborativo entre diferentes empresas y fomenta la optimización de la capacidad ociosa a nivel de los proveedores.

En su modelo de negocio inicial, la empresa actuaba como intermediaria: tramitaba los pedidos a través de sus propios administradores y los compartía con una red de proveedores. Los presupuestos se facilitaban a los posibles clientes de forma anónima. A través de este modelo, se puso en contacto a 5 empresas manufactureras con 20 proveedores y se llevaron a cabo 80 transacciones. Este planteamiento inicial puso de manifiesto el valor de disponer de un *software* para generar una interacción técnica cualificada, así como de una plataforma en la que intercambiar información, especialmente para las empresas situadas fuera de las regiones más industrializadas, que no cuentan con el debido acceso a proveedores competitivos. Sin embargo, al mismo tiempo, esta experiencia dejó en evidencia que los mercados que cuentan con un número relativamente pequeño de actores entrañan ciertos límites para los sistemas que intentan utilizar un mecanismo de monetización basado sobre todo en la intermediación. Esto llevó finalmente a la empresa a rediseñar su modelo de negocio y a centrarse en la captación de valor a través de un sistema de suscripción que da acceso al uso del *software* y permite una adecuada interacción entre clientes y proveedores.

E. Innovacred 4.0 (Brasil)

Alcance: nacional

Tipo de iniciativa: pública

Organización principal: Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP) - Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones

Descripción: Prestación de apoyo financiero para desarrollar y ejecutar un plan de acción que incluye el uso de los servicios para la adopción de tecnologías inteligentes

Dimensiones clave: acceso - adopción

En 2017, la Confederación Nacional de la Industria (CNI) del Brasil analizó la estructura de la oferta en materia de tecnologías instrumentales de la Industria 4.0. En el diagnóstico se señaló que las *empresas integradoras* constituían agentes fundamentales para la difusión de esas tecnologías. Mientras que el SENAI ayuda a las pymes en las primeras fases del proceso de transformación digital, las empresas integradoras podrían ayudar a las medianas y grandes empresas a alcanzar una mayor madurez tecnológica.

El sector de la integración está compuesto por tres tipos de actores. En primer lugar, unos pocos integradores de gran tamaño que compiten con las soluciones externas adoptadas por las filiales de las multinacionales. En segundo lugar, algunas de las empresas que también desarrollan tecnologías instrumentales de la Industria 4.0, de modo que rentabilizan así su modelo de negocio (la estrategia de especialización en el desarrollo de tecnologías se ve limitada por el reducido tamaño del mercado nacional). Y, por último, una red limitada de empresas nacionales de menor tamaño, alcance y capacidad (CNI, 2017).

El carácter estratégico de estas empresas y su importancia en el proceso de difusión tecnológica son la base del programa Innovacred 4.0, puesto en marcha en 2020 por la FINEP del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones del Brasil. El programa tiene por objeto apoyar el desarrollo y la ejecución de iniciativas dirigidas a utilizar los servicios para adoptar las tecnologías instrumentales 4.0 en las líneas de producción de las empresas agrícolas y manufactureras que registren una facturación máxima de unos 58 millones de dólares.

En las normas de funcionamiento de Innovacred se definen las siguientes funciones de las empresas integradoras: prestar servicios de adaptación, personalizar y desarrollar *software*, automatizar los procesos de producción y gestionar las actividades industriales y la implantación de los equipos como los sensores, entre otros, a fin de integrar los procesos de producción. En cuanto a la formación, el programa especifica las necesidades de equipo, unidades auxiliares, mandos, sensores y *software* que se van a utilizar.

A fin de acceder a los recursos financieros (ya sea para adquirir equipos y *software* o para pagar los servicios prestados por la empresa integradora), el beneficiario debe presentar una solución digital que haya sido diseñada por una empresa integradora acreditada por la propia FINEP. De este modo, se anima a los integradores a convertirse en promotores del programa, al tiempo que se facilita su colaboración con otras empresas más pequeñas. Para conseguir esa certificación, la empresa integradora debe demostrar que ha ejecutado un mínimo de tres proyectos relacionados con la implantación de soluciones digitales, además de presentar testimonios de los respectivos clientes o proveedores de equipos de automatización industrial que validen su capacidad. Asimismo, debe solicitar una certificación individualizada de los servicios que podrían recibir financiación. Posteriormente, un comité de certificación se encarga de evaluarlo todo.

En 2019 se certificó a las 7 primeras empresas integradoras; para noviembre de 2020, 14 más se habían sumado a la lista, y actualmente 20 empresas se encuentran en proceso de tramitación. A pesar de que el primer llamamiento de proyectos se convocó justo antes de que estallara la pandemia de COVID-19, el programa ha podido financiar 18 proyectos de implementación hasta la fecha. El 60% de los proyectos pertenecían a microempresas y pequeñas empresas. La financiación total ascendió a más de 12 millones de reales, con un monto medio de 700.000 reales (aproximadamente 140.000 dólares) por empresa adoptante. En septiembre de 2020, el BNDES puso en marcha una herramienta de financiación con un diseño muy similar (Crédito e Serviços 4.0).

F. SENAI 4.0 (Brasil)

Alcance: nacional

Tipo de iniciativa: público-privada

Organización: Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial (SENAI)

Descripción: provisión de asistencia técnica para la adopción de tecnologías inteligentes

Dimensiones clave: adopción – concienciación

El Brasil sigue un modo más consolidado para facilitar la adopción, que se basa en la experiencia positiva del programa Brasil Más Productivo, puesto en marcha en 2016 (CEPAL/IPEA, 2018). Para ello, el SENAI estructuró el programa SENAI 4.0. La iniciativa se inspira en la premisa de que la inserción en la Industria 4.0 debe partir de una estrategia basada en dar el salto tecnológico a corto plazo incorporando las tecnologías de bajo costo que ya estén disponibles en el mercado y puedan conducir a un incremento rápido de la productividad.

El programa está organizado en tres etapas. La primera consiste en celebrar reuniones presenciales y cursos gratuitos dirigidos a concienciar sobre las oportunidades de mejora. Posteriormente, la combinación de un autodiagnóstico digital de la madurez tecnológica con la celebración de entrevistas presenciales, a cargo de los consultores del SENAI, permite emitir un diagnóstico exhaustivo y diseñar un plan de acción para el proceso de transformación. Por último, se pone en marcha la fase de creación de la capacidad y seguimiento y evaluación. Esta etapa está vinculada al programa de tutoría digital de Brasil Más Productivo y consiste en una combinación de actividades de formación profesional y aprendizaje a distancia, que comprende además el despliegue de sensores y *software* para recopilar y visualizar los datos.

El programa define una serie de segmentos para la asistencia técnica en función del historial de madurez y la actividad específica, siguiendo el modelo de la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería (Acatech)¹⁰. Los distintos segmentos entrañan lo siguiente:

- Optimización: necesidades relacionadas con la mejora de los procesos, dirigidas principalmente a reducir los residuos y brindar capacitación sobre cuestiones 4.0
- Sensorización y conectividad: oportunidades vinculadas a la capacidad para hacer un seguimiento de las líneas de producción, destinadas sobre todo a la realización de análisis en tiempo real y la adopción de decisiones

¹⁰ El índice de madurez de Acatech, *Industria 4.0*, es un modelo de madurez que consta de seis fases y analiza las capacidades en materia de recursos, sistemas de información, cultura y estructura organizativa que precisan las empresas que operan en un entorno industrial digitalizado.

- Visibilidad y transparencia: mejoras relacionadas con la posibilidad de integrar los datos recabados en la fase de sensorización en las demás operaciones de la empresa y hacerlos públicos en la nube
- Capacidad predictiva: oportunidades relacionadas con la incorporación de soluciones de análisis predictivo (como los macrodatos y la IA), destinadas sobre todo a la construcción y la puesta a prueba de las hipótesis
- Flexibilidad y adaptabilidad: sistemas implantados para detectar posibles problemas y generar respuestas flexibles a la demanda de nuevos productos y servicios por parte de los clientes

Los tres primeros segmentos corresponden al enfoque del programa Brasil Más Productivo y abarcan en torno al 80% de las empresas manufactureras del país (CEPAL/IPEA, 2018). Los Institutos de Tecnología e Innovación del SENAI cobran una mayor relevancia para los segmentos cuarto y quinto, especialmente en lo que se refiere a facilitar la realización de pruebas y contribuir al diseño de proyectos específicos que ofrezcan soluciones personalizadas.

Los consultores son un elemento clave del programa, ya que actúan como agentes de extensión industrial que aseguran un contacto adecuado con las empresas. Los consultores del SENAI participan en i) la evaluación de la madurez digital, ii) la elaboración del plan de acción junto con la empresa beneficiaria, y iii) la medición de los resultados.

A ese respecto, en el marco del programa primero fue necesario diseñar una metodología específica para "estandarizar" ese contacto. Esa medida consistió, por ejemplo, en diseñar cuestionarios, matrices de evaluación y estrategias de intervención; brindar capacitación a los directores del SENAI, y determinar las habilidades y competencias necesarias para diseñar programas de capacitación específicos (por ejemplo, sobre cómo realizar entrevistas o crear un plan de trabajo). Por último, fue necesario desplegar una prueba piloto en cinco departamentos regionales. La estructuración del programa piloto se diseñó para que sirviera, al mismo tiempo, como validación y perfeccionamiento de la metodología y como una primera entrega del programa de capacitación con consultores del SENAI.

G. Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica (CAIME) (Uruguay)

Alcance: nacional

Tipo de iniciativa: pública

Organización: Ministerio de Industria, Energía y Minería - Consejo de Educación Técnico Profesional - Laboratorio Tecnológico del Uruguay

Descripción: centro de capacitación

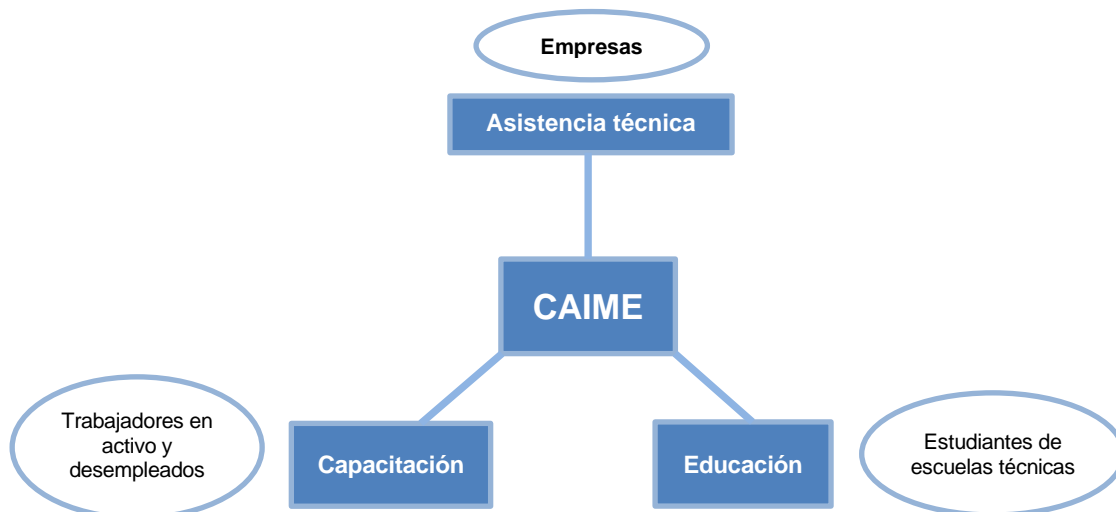
Dimensiones clave: adopción

El Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica del Uruguay (CAIME) se inauguró en febrero de 2015 en el marco de una iniciativa promovida conjuntamente por el Ministerio de Industria, Energía y Minería, el Consejo de Educación Técnico-Profesional de la Universidad del Trabajo del Uruguay (UTU) y el Laboratorio de Tecnología del Uruguay (LATU), que contó con la asistencia técnica de la ONUDI. El Ministerio aportó 1,8 millones de dólares para financiar los equipos de laboratorio, que se adquirieron a la empresa alemana FESTO. Por su parte, FESTO, líder mundial en el sector de la automatización que cuenta con una red de centros de capacitación autorizados y certificados en México, Chile, El Salvador y, sobre todo, Colombia, formó a un profesor enviado por la UTU a su sede y aportó personal para ayudar a instalar y poner en marcha el laboratorio. El LATU, a su vez, invirtió 500.000 dólares en el diseño y la construcción del edificio que alberga el centro.

El centro cuenta con laboratorios de automatización industrial, motores eléctricos y electrónicos, neumática e hidráulica y mecatrónica virtual, además de un laboratorio móvil. Los equipos abarcan múltiples tecnologías, como controladores lógicos programables, paneles de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), controles de circuito abierto y cerrado, AS-Interface (interfaz de actuadores y sensores), Ethernet y sistemas de visión. El laboratorio móvil cuenta con sistemas de simulación de CIROS® Education, lo que permite brindar capacitación con versiones virtuales de todas las estaciones presentes en el laboratorio de automatización industrial y en otros, como robots industriales y sistemas basados en controladores lógicos programables.

El "modelo de negocio" del centro comprendía una financiación mixta, obtenida gracias a la prestación de servicios a múltiples actores. La UTU, esto es, la institución responsable de la educación técnica pública, tanto a nivel de enseñanza secundaria como terciaria no universitaria, financia los gastos del personal docente (en su mayoría ingenieros), que destina una parte importante de su tiempo a formar a los alumnos de los centros académicos de la UTU, así como de otras instituciones de educación técnica. El centro también ofrece asistencia técnica a las empresas y utiliza las instalaciones para impartir capacitación a los trabajadores. El CAIME tiene un convenio firmado con el Instituto Nacional de Empleo y Formación Profesional, que subvenciona cursos tanto a trabajadores en activo como a personas desempleadas a través de un fondo de "reconversión laboral". A pesar de que el centro ha logrado consolidar su papel en el sistema educativo, así como responder a la demanda de formación por parte de los trabajadores y las empresas del sector privado, la coordinación con las actividades de consultoría y asistencia técnica sigue siendo limitada.

Diagrama 3
Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica (CAIME)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de entrevistas.

Las competencias del centro lo convierten en un activo nodal para emprender la transformación hacia la Industria 4.0, sobre todo dada la naturaleza modular de los cursos. Debido a ese papel nodal, la Cámara Industrial del Uruguay firmó un acuerdo con el centro para financiar la formación de dos de sus empleados en Chile. A su regreso, estos ayudaron a diseñar planes de transformación para algunas empresas asociadas, con la idea de que utilizaran las instalaciones del CAIME para capacitar al personal sobre el proceso de implantación. A fin de reforzar este objetivo, el centro se enfrenta a la necesidad creciente de aumentar sus capacidades tecnológicas, especialmente en lo que respecta al uso de sensores y controladores para optimizar el consumo energético y el mantenimiento preventivo.

H. Mind 4.0 (México) y Laboratorio de Innovación Digital (Costa Rica)

Alcance: regional - nacional

Tipo de iniciativa: público-privada / Pública

Organización: Secretaría de Economía y Trabajo y Consejo Nuevo León 4.0 - Ministerio de Ciencia, Tecnología y Comunicaciones

Descripción: iniciativa de innovación abierta para aportar soluciones innovadoras a las empresas con miras a convertirse en una plataforma industrial que dé impulso a las empresas emergentes

Dimensiones clave: acceso - producción inteligente

A principios de 2019, el Consejo Nuevo León 4.0 convocó el primer llamamiento en el marco del programa MIND 4.0. Este programa, que es una adaptación del modelo implantado en el País Vasco (BIND 4.0), sigue una estrategia de innovación abierta para aportar soluciones innovadoras a las empresas y dar impulso a las empresas emergentes que operan en el ecosistema de la fabricación inteligente.

La iniciativa comienza con un llamamiento dirigido exclusivamente a las grandes empresas industriales que actúan como agentes de referencia¹¹ dentro de sus sectores a nivel regional. Las empresas participantes, entre las que se encuentran Frisa, Cemex o John Deere, deben proponer al menos un reto que deberá resolverse utilizando tecnologías 4.0, y comprometerse a aportar hasta 50.000 dólares para desarrollar la propuesta seleccionada, por lo que en ocasiones actúan también como primeros clientes.

Diagrama 4
Mind 4.0: asociados y descripción de retos

Asociados	Reto
Frisa-Posi	Herramienta para la trazabilidad de las temperaturas elevadas
Metalsa-MANUFAl	Optimización de las soldaduras gracias a la inteligencia artificial
Questum-NubaHub	Sistema de seguimiento para detectar defectos en las bobinas de los hornos de inducción
Ternium-Prismex	Diseño de un monitor GPS/3D de variables industriales fundamentales
Sigma-Gesta Labs	Apoyo a distancia a través de la Internet de las cosas

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de entrevistas.

Una vez seleccionados los retos, la iniciativa hace un llamamiento a las empresas emergentes de todo el mundo para que presenten soluciones a ese desafío que utilicen tecnologías 4.0. Para que sea admisible, la solución deberá haber concluido ya la fase de desarrollo tecnológico, y la empresa emergente deberá estar buscando oportunidades para ampliar su escala. Estas empresas proponen sus soluciones y las seleccionadas pasan a un proceso de negociación con las empresas con el objetivo de afinar la propuesta. Finalmente, todas las partes firman un contrato y ejecutan la solución en un plazo de seis meses. A lo largo del proceso, las partes están acompañadas por núcleos de emprendimiento, conformados por grupos de expertos de las universidades locales. La primera convocatoria atrajo a 21 grandes empresas y 64 empresas emergentes, mientras que en la segunda participaron 25 grandes empresas y 108 empresas emergentes, procedentes de países como España, el Canadá o la República de Corea.

¹¹ Tanto nacionales como internacionales.

El Ministerio de Ciencia, Innovación Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica está diseñando un programa similar basado en una estrategia de innovación abierta: el Laboratorio de Innovación Digital. El enfoque consiste en ampliar la experiencia del primer laboratorio Fab Lab para el sector agrícola (especializado en gestión tecnológica) a la industria manufacturera. Este Fab Lab se puso en marcha a mediados de 2019 de manera conjunta con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y el Fondo Nacional de Telecomunicaciones de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

El Laboratorio de Innovación Digital tiene por objeto determinar los retos afrontados por las empresas y asociarse con la Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación a fin de atraer a miembros y emprendedores que propongan soluciones. El proyecto piloto se dirigiría a un pequeño grupo de empresas diversas, incluida una multinacional, una cooperativa y una empresa nacional mediana. Los gestores tecnológicos actuarían como intermediarios entre las empresas adoptantes y los proveedores de soluciones. El programa contempla la entrega de vales para aprovechar los recursos del Sistema de Banca para el Desarrollo con miras a financiar el diseño de prototipos, por lo que la colaboración se da en una fase más embrionaria que en el programa original MIND 4.0.

III. Programa de fabricación inteligente en América Latina

En la sección anterior se ha analizado la manera en que la región comenzó a seguir los pasos emprendidos hace tiempo por los países desarrollados para promover las políticas relativas a la fabricación inteligente. Además, el enfoque regional se ha visto influido en gran medida por la experiencia institucional de esos países, sobre todo de Alemania y el País Vasco (España).

Las estrategias relacionadas con las tecnologías de producción digital avanzada que se aplican a la industria manufacturera adoptan distintas formas en todo el mundo: políticas industriales o planes de ciencia, tecnología e innovación, estrategias de digitalización o agendas digitales nacionales, etc. Entre las estrategias de los países en desarrollo, el plan "Hecho en China 2025" supone un caso especialmente ambicioso y relevante. Este programa se aprobó en 2015 como una iniciativa integral para mejorar la categoría de la industria manufacturera china y lograr que pasase de ser un gigante del sector manufacturero a una potencia manufacturera mundial. La estrategia busca suplir las diferencias con los países desarrollados en materia de innovación, eficiencia en el uso de los recursos, estructura industrial, digitalización y calidad de los productos.

En Tailandia, por ejemplo, los elementos básicos de la estrategia nacional, Tailandia 4.0, se integran en la Estrategia Nacional de 20 Años (2017-2036) y en el XII Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social para el período 2017 a 2021. La política nacional de Malasia relativa a la Industria 4.0 (Industry4wrd) pretende impulsar el rendimiento industrial del país y respalda los esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La India puso en marcha la iniciativa "Make in India", que busca combinar la industria con las tecnologías relativas a la Internet de las cosas. Esta iniciativa se complementa con el Programa Digital de la India, que pretende promover la industria manufacturera y la utilización de la infraestructura relativa a las TIC (ONU, 2019a).

Las estrategias en materia de fabricación inteligente también están adoptando diversas formas en toda la región. En Colombia, por ejemplo, la Industria 4.0 se tuvo en cuenta al elaborar el Plan Nacional de Desarrollo, como parte de un pacto nacional a favor de la sociedad digital y la 4RI (DNP, 2018). En el Brasil se aprobó el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Fabricación Avanzada (MCTIC, 2017). Chile, pese a haber llegado tarde a las tecnologías de producción digital avanzada, ha sido uno de los primeros en adoptar una estrategia a ese respecto. El Programa Estratégico de Industrias Inteligentes (2015-2025), anunciado en 2016, introduce un enfoque vertical a la hora de analizar los problemas, las necesidades y las posibles soluciones para los distintos sectores industriales (CORFO, 2017). En la Argentina, el Ministerio de Desarrollo Productivo anunció recientemente el Plan de Desarrollo Productivo 4.0.

A pesar de los avances observados hasta ahora en la región, en este momento todavía es difícil evaluar de manera exhaustiva la repercusión del programa de fabricación inteligente en la región. En primer lugar, la mayor parte de las iniciativas puestas en marcha hasta la fecha son relativamente recientes (la mayoría comenzaron hace 2 o 3 años) y, por lo tanto, aún es demasiado pronto para analizar los resultados obtenidos. Además, su planificación y ejecución se han visto tremendamente afectadas por la pandemia de COVID-19. Si bien la pandemia ha propiciado un mayor impulso a la aceleración de la transformación tecnológica, también ha hecho necesario adaptar las dinámicas de funcionamiento de los gobiernos, al tiempo que ha ejercido una fuerte presión sobre los recursos financieros.

No obstante, tras una inspección minuciosa en torno a la naturaleza y el alcance de las intervenciones, así como de su relación con los principales retos afrontados por el sector manufacturero (analizados en la segunda sección del presente artículo), se pueden extraer una serie de conclusiones sobre los puntos críticos que afectan a la región de manera predominante. El tipo de intervenciones y su escala varían notablemente entre los distintos países, dependiendo de la estructura industrial y el desarrollo institucional previo, entre otros. Precisamente por esa heterogeneidad (y por la disparidad en lo que respecta al punto de partida del sector manufacturero de cada país), existen ciertos matices en cuanto a la gravedad de las deficiencias detectadas en la actualidad.

Además de la variabilidad observada, se ha determinado un conjunto de retos comunes que obstaculizan la fabricación inteligente en la mayoría de los países de la región. Al combinar esos desafíos comunes con las lecciones de la experiencia internacional, se obtiene una serie de recomendaciones para impulsar el programa de fabricación inteligente en América Latina.

A. Fortalecer la sensibilización entre los países de industrialización tardía y los rezagados

La sensibilización sobre el potencial y las aplicaciones de las tecnologías avanzadas en la industria manufacturera es una condición indispensable para la transformación digital. Sin embargo, la evidencia muestra que muchas empresas manufactureras desconocen el valor y las soluciones específicas que podrían beneficiarlas.

Las medidas de concienciación desplegadas en la región han tendido a depender en gran medida de la difusión de las experiencias positivas, los seminarios y congresos sobre las nuevas tendencias y el autodiagnóstico. Sin embargo, en la región aún existen ciertos ámbitos que las empresas pueden aprovechar para experimentar el impacto de las nuevas tecnologías. Esas iniciativas pueden ser un terreno fértil para crear vínculos entre el sector público y el privado, y también pueden utilizarse con fines formativos.

La concienciación exige comprender en profundidad el contexto local y la forma de pensar y operar de las empresas manufactureras a fin de que los "efectos de demostración" sean significativos. En la India, los responsables de formular políticas tienen el objetivo de que la infraestructura pública de investigación ponga de relieve las aplicaciones prácticas de las tecnologías de producción digital avanzada a fin de concienciar sobre la cuestión y desmitificar el concepto mediante actividades de capacitación que se

adapten a las necesidades de las empresas. Los centros se establecen con miras a adaptarse a la especialización de la industria manufacturera local y a las competencias de las empresas. Por ejemplo, el C4i4 Lab de Pune recibió una donación pública de 2 millones de dólares y recaudó otros 700.000 dólares de financiación privada para apoyar a las pymes locales. El programa comienza realizando estudios de diagnóstico a fin de determinar los principales retos de las pymes en lo que respecta a la fabricación inteligente. El laboratorio apoya la realización de talleres y demostraciones de aplicaciones de fabricación inteligente, así como la ejecución de proyectos piloto para adoptar soluciones que se adapten a las pymes. Según el director del C4i4 Lab, entre los factores determinantes del éxito se encuentran la facilitación de una buena relación con las asociaciones industriales, el fomento de la interacción con las instituciones de educación superior, tanto en lo que respecta a la formación como al desarrollo de competencias, y la participación de los graduados universitarios en las distintas actividades (ONUUDI, 2019a).

La creación de redes sólidas a nivel local a través de iniciativas comunitarias también es clave para el éxito. En abril de 2017, las autoridades locales de la provincia china de Zhejiang pusieron en marcha el Plan de Implementación de la Nube para Empresas con objeto de concienciar a las empresas manufactureras sobre la tecnología de la nube y sus aplicaciones. El objetivo inicial era ayudar a 100.000 empresas a adoptar la tecnología en la nube entre 2018 y 2020. Las administraciones locales organizaron más de 1.100 seminarios de formación sobre la nube, que beneficiaron a más de 90.000 empresas y 100.000 participantes. Todas las empresas industriales, independientemente de su tamaño o tipo, pudieron asistir a seminarios dirigidos a mejorar su disposición y su capacidad práctica para utilizar las tecnologías de la nube. Como resultado, más de 218.000 empresas de Zhejiang comenzaron a utilizar la nube, lo que hizo que el número total de empresas adoptantes en la provincia ascendiera a unos 268.000 tras un año de funcionamiento del programa (ONUUDI, 2019a).

Otro ejemplo son los centros de competencia Mittelstand 4.0 de Alemania, en los que se imparten talleres, se instalan plantas de demostración y se establecen redes con representantes de toda la cadena de valor. Las pymes pueden acudir, formular consultas y recibir asesoramiento de forma gratuita. El establecimiento de los centros de competencia Mittelstand 4.0 corre a cargo de consorcios independientes formados, por ejemplo, por universidades, institutos Fraunhofer y otros asociados externos como las cámaras de comercio. En el marco de esos consorcios, cada asociado asume un papel determinado en función de su competencia concreta (por ejemplo, impresión 3D, fabricación flexible, nuevos modelos de negocio, etc.). En la actualidad, existen un total de 23 centros de competencia Mittelstand 4.0. De ellos, 17 se centran en prestar apoyo a las pymes en torno a cuestiones generales y relacionadas con la digitalización. Por otro lado, los 6 restantes se dedican a ejes y aplicaciones específicas, como la tecnología de la información, el textil, las normas electrónicas o la usabilidad, la artesanía y la construcción inteligente (ONUUDI, 2019a).

B. Ampliación de la conectividad a las zonas más remotas en beneficio de las empresas manufactureras

En lo que respecta a la infraestructura, la región se enfrenta al doble reto de promover inversiones en la nueva plataforma que aceleren notablemente el proceso de transformación (5G) e incorporar una perspectiva "centrada en la empresa" que amplíe la conectividad a las "zonas más remotas", que suelen verse relegadas en el programa regional. Esto es especialmente importante para las pymes. La industria inteligente genera economías digitales que obedecen al hecho de que su máximo potencial se alcanza cuando el proceso de transformación va más allá de la fábrica y llega a los proveedores y clientes. En ese sentido, los beneficios que las grandes empresas nacionales y las filiales de las multinacionales obtienen del proceso de transformación podrían verse limitados por la falta de conectividad y progreso tecnológico de las pymes que intervienen en sus cadenas de valor. Estas deficiencias incluso pueden

obligar a reconfigurar la cadena de suministro y a desplazar a los proveedores locales, lo que perjudica todavía más a la región.

El programa de conectividad debería complementarse con una regulación adecuada que permita desarrollar soluciones de fabricación inteligente y garantice un acceso eficaz a las mismas. En este sentido, la homologación de los protocolos y la definición de los derechos y obligaciones en lo que respecta al uso y la protección de los datos son factores clave de la inversión en tecnologías emergentes. La armonización también desempeña un papel fundamental, sobre todo en lo que respecta al comercio regional y mundial.

Si bien la región ha experimentado un importante dinamismo en términos de conectividad general, se ha avanzado poco en lo que respecta a las zonas más remotas, sobre todo desde el punto de vista de las empresas manufactureras. Aunque la conectividad puede percibirse como una cuestión insignificante para las grandes empresas de las zonas altamente urbanizadas, la situación puede ser muy distinta para las empresas más pequeñas y las que operan en zonas menos pobladas.

Para ampliar la conectividad de las empresas manufactureras es necesario ir más allá de la actualización de la normativa, abrir el sector de las TIC a la inversión y fomentar la infraestructura de banda ancha. A fin de garantizar un acceso adecuado y asequible a Internet de alta velocidad se precisa un esfuerzo adicional, sobre todo en las zonas geográficas marginadas y en el caso de las pymes. Los gobiernos pueden recurrir a las instituciones educativas y a los centros locales y comunitarios para proporcionar acceso gratuito o subvencionado a Internet. Los elementos que propician ese ecosistema, como los centros tecnológicos y de innovación o los parques industriales, también pueden desempeñar un papel importante. Asimismo, los impuestos e incentivos deberían ayudar a reducir las brechas digitales geográficas y a mejorar el acceso a una infraestructura adecuada.

Las tecnologías móviles también pueden contribuir de manera sustancial, sobre todo en las zonas geográficas que carecen de un acceso adecuado a la banda ancha fija. A ese respecto, el despliegue de la 5G es una de las principales prioridades del programa. Algunos de los aspectos más destacables de la 5G son: su capacidad para ofrecer conexiones de alta disponibilidad y baja latencia, su eficiencia energética y la posibilidad de conectar miles de dispositivos a cada antena. Esto permite un nuevo abanico de aplicaciones y da un nuevo impulso a las soluciones ligadas a la Internet de las cosas.

Sobre todo, la 5G aporta valor al mejorar tres aplicaciones: la banda ancha móvil reforzada, la comunicación ultraconfiable de baja latencia y la comunicación masiva entre máquinas. El crecimiento de la 5G beneficiará a muchas empresas, tanto de usuarios como de proveedores. En el ámbito de la electrónica avanzada, destacan tres grupos especialmente bien posicionados para obtener beneficios: los proveedores de componentes y módulos, los operadores de maquinaria y dedicados a la automatización industrial y las empresas manufactureras (Burkacky y otros, 2020).

Pese al impulso generado, aún queda mucho por hacer para convertir el potencial en valor real. La GSMA que para 2025 existirán 65 millones de conexiones 5G en América Latina y el Caribe, es decir, el 10% del total de conexiones previstas para la región (GSMA, 2020).

C. Desarrollo de una cultura de ciberresiliencia

Las amenazas a la ciberseguridad representan uno de los mayores riesgos para la economía mundial y plantean importantes retos en lo que respecta a la privacidad de los datos. En 2018, se estimó que los daños ocasionados por los ciberataques ascendieron a 600.000 millones de dólares, lo que equivale al 0,8% del PIB mundial (Lewis, 2018). Además, los datos de la región sugieren que los ataques están pasando de ser ataques aleatorios a particulares a ataques dirigidos contra empresas (Kaspersky, 2020). Las empresas son especialmente vulnerables a los ataques por correo electrónico y a la contaminación sin conexión, por ejemplo, a través de dispositivos USB.

Para hacer frente a este riesgo hay que pensar más allá de las soluciones técnicas y sustituir el paradigma de la ciberseguridad por otro enfocado a la ciberresiliencia. La ciberresiliencia no solo implica utilizar las herramientas y metodologías adecuadas para prevenir los ataques, sino también desarrollar las habilidades y la cultura empresarial necesarias para mitigar esas amenazas.

En un estudio (ESI ThoughtLab, 2020) se concluyó que el 87% de los ejecutivos opinaban que los empleados sin formación suponían la mayor amenaza para la ciberseguridad. En ese sentido, es posible que los usuarios finales sean el eslabón más débil para lograr la ciberresiliencia. Los usuarios no solo demuestran a veces un exceso de confianza, sino que también se cometen descuidos a la hora de actualizar el *software* de sus dispositivos, renovar las contraseñas, leer detenidamente los términos y condiciones cuando se accede a determinada información o aplicaciones, e incluso se dan casos en los que se accede a aplicaciones o contenidos de dudosa procedencia que despiertan fácilmente la curiosidad.

Además de aumentar la inversión en ciberseguridad, algunas de las principales recomendaciones para aumentar la ciberresiliencia son: dar prioridad absoluta a las buenas prácticas en materia de ciberseguridad; mantener a los equipos de gestión centrados y coordinados; confiar sin reservas en la analítica avanzada y en los equipos especializados; sacar un mayor partido a las herramientas de ciberseguridad (incluida, por ejemplo, la seguridad del volumen de trabajo que se desarrolla en la nube o la detección de puntos finales), hacer un mayor uso de los seguros de ciberseguridad y autorizar y capacitar a los equipos para que trabajen a través de plataformas seguras basadas en la nube.

Otras organizaciones, como el Foro Económico Mundial, han llevado esta visión un paso más allá y han sugerido que estas amenazas se aborden a nivel del ecosistema. Según ese punto de vista, las diferentes organizaciones deberían colaborar e intercambiar información cibernética en el marco de una plataforma para desarrollar la resiliencia colectiva. Por ejemplo, Mining and Metals ISAC (MM-ISAC) es una organización sin fines de lucro, perteneciente a la industria y abierta a todas las empresas de los sectores minero y metalúrgico, que se dedica a compartir información crítica sobre ciberseguridad a través de canales seguros.

D. Mejora de la asequibilidad para las pymes

La asequibilidad de las soluciones 4.0 es fundamental en líneas generales y, más aún, en una región que se caracteriza por el bajo crecimiento económico y el escaso acceso a los recursos financieros.

Las intervenciones impulsadas por la demanda pueden brindar un apoyo considerable, especialmente a las pequeñas empresas. Por ejemplo, el gobierno de Zhejiang ha introducido diversos métodos de apoyo financiero para facilitar la adopción de las nuevas tecnologías o fomentar la innovación, sobre todo entre las pymes. Los sistemas de vales reducen el coste de la tecnología en la nube, y las empresas pueden canjear esos vales con los proveedores de servicios en la nube. A partir de una evaluación técnica, el gobierno selecciona a determinadas empresas a las que concede subvenciones para que ejecuten proyectos piloto o de demostración representativos (ONUDI, 2019a).

El gran reto a este respecto radica en ampliar lo suficiente la escala y hacer que el impacto sea sostenible, sobre todo habida cuenta de que las intervenciones impulsadas por subvenciones dependen en gran medida de la disponibilidad de recursos financieros. En ese sentido, para producir un impacto perceptible y duradero en ese ámbito es posible que sea necesario ir más allá de los medios tradicionales para mejorar la asequibilidad (esto es, los créditos subvencionados y las subvenciones en función de la demanda) y contemplar la adopción de enfoques más innovadores. Por ejemplo, la consolidación de ciertos elementos ligados a las ofertas tradicionales (como el espacio en la nube, la arquitectura de *software* o los moldes de fabricación aditiva) para que funcionen como soluciones compartidas puede aliviar considerablemente el costo para las pymes.

E. Creación de oportunidades para las empresas emergentes y aceleración del desarrollo de soluciones

Más allá de mejorar el acceso a las tecnologías digitales avanzadas y su adopción, los gobiernos y los líderes del sector privado deberían trabajar de consuno para ampliar el ecosistema dedicado al desarrollo de soluciones. La promoción del desarrollo de soluciones no solo facilita que las empresas manufactureras creen y adopten soluciones adecuadas, sino que también estimula el crecimiento, la creación de empleo y la difusión de las tecnologías y capacidades.

Las empresas emergentes están cobrando impulso y se benefician de iniciativas que las ayudan a acceder al capital y a acelerar su crecimiento. El programa BIND 4.0, introducido en 2016 en el País Vasco, fue la primera iniciativa internacional público-privada que funcionó como acelerador de empresas emergentes, especializado en soluciones relacionadas con la Industria 4.0, cuyo objetivo era respaldar su creación y crecimiento (ONUDI, 2019a). Dicho programa moviliza a las empresas locales del País Vasco —de los sectores sanitario, energético, agroalimentario y manufacturero— para que actúen como catalizadores y establezcan contacto con empresarios innovadores, tanto nacionales como extranjeros. El BIND 4.0 fue una fuente de inspiración para desplegar esfuerzos similares en todo el mundo, incluido el programa MIND en Nuevo León.

La República de Corea estableció en todo el país una red de 19 Centros de Innovación en materia de Fabricación Inteligente en apoyo de las pymes y a las empresas emergentes, cuyo objetivo consistía en suministrar 30.000 fábricas inteligentes para 2025 (Ministerio de Pymes y Empresas Emergentes, 2021). Por ejemplo, el parque tecnológico de Pohang se centra en apoyar a las industrias siderúrgicas promoviendo la innovación tecnológica y la fundación de empresas con una excelente capacidad tecnológica a través de actividades de incubación, investigación conjunta, educación y formación, y difusión. Algunas de sus actividades básicas son: a) fomentar las empresas tecnológicas emergentes a fin de crear un ecosistema empresarial aumentando su apoyo financiero e invirtiendo y contribuyendo a la financiación de las empresas emergentes locales; b) descubrir empresas tecnológicas líderes y promover las que estén impulsadas por un crecimiento innovador mejorando las condiciones de arrendamiento para las empresas mediante la ampliación de la infraestructura de apoyo, y c) fomentar en gran medida las futuras industrias estratégicas en Pohang y prestarles apoyo (Pohang Technopark, 2019).

Como parte del Plan de Implementación de la Nube para Empresas, puesto en marcha en Zhejiang, las autoridades municipales crearon una plataforma de servicios en la nube para coordinar a los proveedores de servicios en la nube, los diseñadores de tecnología en la nube, los desarrolladores de *software* y *hardware*, los integradores de sistemas y las asociaciones industriales con objeto de evaluar la utilización en las empresas y elaborar planes para proyectos minuciosos de transformación en la nube. A fin de responder a las necesidades de las empresas, la provincia incubó 12 plataformas de aplicaciones industriales en la nube en los sectores textil, comercial, financiero y de servicios inteligentes de atención al cliente.

Los espacios creativos pueden acelerar y democratizar el desarrollo de la industria manufacturera, sobre todo en las zonas geográficas marginadas. Desde principios de la década de 2000, diversas formas de espacios creativos, denominados genéricamente movimientos modernos de "hágalo usted mismo" —como laboratorios de fabricación, espacios de *hackers*, espacios de fabricación, centros tecnológicos y de innovación y espacios creativos— son intentos innovadores de suplir las deficiencias de los mercados y los Estados a la hora de proporcionar educación, desarrollar la capacidad y equipar la infraestructura necesaria para la fabricación inteligente.

Aunque son diferentes, los movimientos basados en el "hágalo usted mismo" suelen ofrecer acceso a tecnologías digitales que facilitan el intercambio de conocimientos y la difusión de ideas creativas a nivel comunitario. También ofrecen espacios comunes, ya sea físicos o cibernéticos, en los que las personas pueden crear colectivamente o retocar los productos existentes para adaptarlos a sus necesidades con

equipos digitales y herramientas de hardware. Estos movimientos suelen brindar oportunidades para establecer contactos con posibles inversores, prestamistas, clientes y asociados comerciales.

Los movimientos basados en el "hágalo usted mismo" suelen buscar soluciones a los problemas de desarrollo a nivel particular o comunitario. Sin embargo, podrían aportar nuevas plataformas para la colaboración pública en la esfera del sector manufacturero, abriendo espacios en los que crear modelos inclusivos y sostenibles para desarrollar este sector (ONUDI, 2019a).

F. Inversión en el desarrollo de la capacidad y las habilidades

A fin de desarrollar las capacidades necesarias para incorporar las nuevas tecnologías y asimilar las transformaciones productivas asociadas, es esencial contar con el compromiso de las partes, así como con recursos sustanciales. El ingente esfuerzo necesario para mejorar y recualificar la mano de obra actual y el talento en materia de desarrollo constituye uno de los principales desafíos en la región y en todo el mundo. La falta de grandes centros de desarrollo de nuevas tecnologías (que suelen encontrarse en los países desarrollados y punteros en el ámbito de la tecnología) y la relativa debilidad de los sistemas de formación profesional de muchos de los países de la región acentúan la falta de personal cualificado para esta tarea.

Esa falta de talento se extiende a los servicios de asistencia técnica. Como demuestra la experiencia del SENAI, el primer reto que afrontan los programas de este tipo para alcanzar una escala suficiente radica en crear una red sólida de expertos en nuevas tecnologías, sobre todo en las zonas geográficas con menor densidad industrial. A excepción quizás del Brasil, todos los países de la región experimentan una dificultad adicional causada por la debilidad de la industria electrónica y la escasa articulación entre el sector del *software* y la industria manufacturera.

La falta de integradores capacitados constituye un desafío crítico para el sector. Los integradores que cuentan con formación en *software* no suelen tener experiencia ni conocimientos técnicos, mientras que los que proceden del ecosistema de la automatización carecen de competencias informáticas. En muchos países esto supone un reto aún mayor, ya que el mercado nacional de talento en el ámbito de los servicios prestados a las empresas manufactureras se ve limitado por el escaso poder adquisitivo cuando se compite con las oportunidades de atracción de talento a nivel mundial. Además, el pequeño tamaño de los mercados internos desalienta la creación de capacidades que vayan más allá de la distribución por parte de las empresas mundiales. Esto significa que (al igual que ocurre con los robots), muchos países de la región carecen de una red adecuada de servicios de mantenimiento, lo que eleva significativamente su costo, reduce el grado de adopción y, en consecuencia, afecta a la competitividad a largo plazo.

Este fenómeno pone de relieve la importancia de establecer una red de empresas locales que tengan capacidad para diseñar o adaptar soluciones. Abordar este reto parece más factible en el segmento del *software* que en el del *hardware*, tanto por las capacidades acumuladas como por el diferente peso de las economías de escala. En cualquier caso, salvo unas pocas excepciones, la mayoría de los países de la región carecen de instalaciones que puedan usarse como bancos de pruebas para poner en práctica estas soluciones. Además, esto se ve acentuado por la falta de desarrollo del ecosistema científico-tecnológico, que es relativamente más robusto en la esfera de la investigación básica que en lo referente al desarrollo tecnológico.

El País Vasco está experimentando con la adopción de nuevos enfoques de capacitación, perfeccionamiento y reorientación profesional que se ajusten a las nuevas necesidades de las empresas. Las organizaciones de este grupo temático lideran la aplicación de estrategias de desarrollo de recursos humanos, en las que toman como punto de partida los modelos de capacitación existentes, utilizan instalaciones de formación y entornos de aprendizaje mejorados y ponen a prueba nuevos métodos de

enseñanza. Por ejemplo, la Asociación de Industrias de Conocimiento y Tecnología de Euskadi (GAIA) ejecuta programas piloto, algunos en colaboración con el Departamento de Empleo, Inclusión Social e Igualdad de la Diputación Foral de Bizkaia, que están dirigidos a los jóvenes y tienen por objeto facilitar el reentrenamiento profesional en ámbitos de las TIC que registran una gran demanda de puestos de empleo (GAIA, 2019).

Los movimientos basados en el "hágalo usted mismo" también pueden desempeñar un papel importante en este sentido. Aunque suelen incluirse entre las herramientas políticas innovadoras para reforzar los ecosistemas digitales vinculados a las empresas emergentes en las economías avanzadas, las funciones principales de estas iniciativas son la educación, el aprendizaje, la resolución de problemas y la capacitación entre pares. Asimismo, pueden fomentar la participación de las universidades, ya que muchas de las instalaciones de este tipo ubicadas en los países en desarrollo se encuentran en centros de educación superior, que, a su vez, proporcionan equipos y formadores. En esas instalaciones, se imparte capacitación sobre el uso de los equipos y las herramientas digitales para hacer prototipos en el marco de los proyectos. Los estudiantes adquieren experiencia utilizando equipos digitales avanzados con miras a aumentar su empleabilidad, pero también a aventurarse en el mercado como empresarios.

G. Aumento de la integración y la colaboración entre las principales partes interesadas

Un primer aspecto está relacionado con la necesidad de desarrollar y articular una estrategia cohesionada y coherente que involucre a las diferentes partes interesadas. Esto implica delimitar una orientación clara en lo que respecta las prioridades, determinar una asignación presupuestaria coherente con ella y crear espacios institucionales que no solo sirvan para intercambiar opiniones e información, sino que también incluyan mecanismos eficaces para coordinar las iniciativas de los distintos ministerios y del sector privado. Salvo algunas experiencias que han obtenido buenos resultados, como la de Nuevo León en México, en la región no se registran muchos antecedentes a este respecto.

Los enfoques participativos y de múltiples interesados son fundamentales en los diferentes niveles de toma de decisiones. A través de procesos participativos con múltiples interesados, los encargados de formular políticas pueden fomentar una visión común de los objetivos estratégicos, seleccionar determinados instrumentos políticos puestos a prueba para su ampliación de escala, informar sobre el diseño de los incentivos políticos o detectar disparidades entre los distintos tipos de empresas. Es preciso hacer hincapié en la colaboración con la comunidad científico-tecnológica.

En Turquía, por ejemplo, bajo la dirección general del Consejo Superior de Ciencia y Tecnología (BTYK), el Consejo de Investigación Científica y Tecnológica de Turquía (TÜBİTAK) coordinó la hoja de ruta tecnológica a favor de los sistemas de fabricación inteligente, que se basa en la digitalización y la interacción en el ámbito de las tecnologías avanzadas de producción digital y las fábricas del futuro (UNCTAD, 2019). A través de un amplio proceso participativo, que incluyó la realización de encuestas en empresas, fue posible definir tres grupos tecnológicos, a saber, digitalización, conectividad y fábricas del futuro, con 10 objetivos estratégicos de carácter tecnológico y 29 productos esenciales, proyectos de I+D y aplicaciones sectoriales prioritarias. En países como la Argentina o el Brasil también se han llevado a cabo procesos consultivos similares a fin de servir de base en el desarrollo de las estrategias nacionales.

Los enfoques participativos pueden ayudar a detectar los cambios emergentes, incluso en una fase temprana. Cuando se combinan con instrumentos de políticas como la previsión estratégica y los servicios de información sobre los mercados, los procesos participativos pueden ayudar a los encargados de formular políticas a anticiparse a las oportunidades, amenazas o vulnerabilidades desde las primeras etapas. Habida cuenta del ritmo acelerado al que evolucionan las tecnologías de producción digital avanzada, los enfoques de colaboración entre múltiples interesados pueden detectar dónde es

necesario contribuir a la creación de capacidad y ayudar a las empresas nacionales a determinar o anticipar los cambios en la demanda y en la estructura y la dinámica de las cadenas de valor.

La reflexión colectiva en la que se sustenta la elaboración de hojas de ruta o estrategias nacionales suele servir de base para proponer estudios de diagnóstico adicionales centrados en sectores estratégicos o tecnologías concretas, mientras que los gobiernos se centran en aprovechar las iniciativas y proyectos piloto en curso.

La colaboración internacional y regional y la coordinación en materia de políticas también pueden desempeñar un papel fundamental, sobre todo en los países en desarrollo. Varios países en desarrollo aún carecen de una estrategia formal y están participando en consultas y otros procesos participativos dirigidos a la formulación de políticas, con vistas a desarrollar hojas de ruta o estrategias nacionales a través de grupos especiales de tareas, grupos de trabajo o grupos consultivos.

La nueva estrategia de digitalización de Kazajistán, Kazajistán Digital, se benefició de la colaboración del Instituto Fraunhofer de Alemania con el Ministerio de Industria y Desarrollo de Infraestructuras de Kazajistán (MIID, 2018). Entre las actividades desplegadas se incluyó un estudio de diagnóstico sobre el grado de preparación de unas 600 empresas nacionales para implantar sistemas de fabricación inteligente. Una serie de empresas de los sectores textil y alimentario, entre otros, están poniendo a prueba modelos de fábricas digitales y, en función de los resultados, tienen previsto popularizar las tecnologías digitales, demostrar los efectos de la digitalización, determinar los obstáculos que la limitan y desarrollar herramientas de apoyo avanzadas. Una auditoría tecnológica, que utiliza la metodología del Instituto Fraunhofer, tiene previsto que las empresas locales digitalicen los procesos de producción, los modelos de negocio, el mantenimiento de los equipos, las cadenas de suministro, las interacciones con los clientes y las actividades de formación, entre otras esferas pertinentes.

Los espacios de colaboración regional pueden desempeñar un papel fundamental. En 2015, China y Alemania acordaron promover de manera conjunta el grado de preparación de sus respectivas economías para la fabricación inteligente, para lo que vincularon las iniciativas Hecho en China 2025 e Industria 4.0 a través de un memorando de entendimiento firmado por el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información de China (MIIT) y el Ministerio de Economía y Energía de Alemania. La colaboración ya está dando sus frutos a través de un parque industrial, establecido conjuntamente por China y Alemania, como plataforma para conectar a las empresas chinas con la tecnología alemana. En 2016, el MIIT seleccionó una serie de proyectos piloto de demostración con arreglo al acuerdo de cooperación chino-alemán en materia de fabricación inteligente, y las empresas chinas se presentaron siguiendo su propia estrategia de desarrollo. Un grupo de expertos, tanto chinos como alemanes, evaluaron los proyectos y confirmaron el primer lote de 14 proyectos piloto de demostración, entre los que se encontraba, por ejemplo, el análisis de la Industria 4.0 en torno al sector siderúrgico realizado por China Baowu Steel Group Corporation y Siemens (ONUDI, 2019a).

Bibliografía

- Albrieu, R. y otros (2019), "Travesía 4.0: hacia la transformación industrial argentina", *Nota Técnica*, N° IDB-TN-1672, Washington, D.C., Banco Interamericano de Desarrollo (BID), junio.
- Álvarez Corrada, G. (2020), "Conectividad 5G y su impacto en la industria 4.0: madurez y evolución" [en línea] <https://empresas.blogthinkbig.com/conectividad-5g-impacto-industria-4-0-madurez-evolucion/>.
- ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia) (2019), *Informe de la Encuesta de Transformación Digital 2019* [en línea] <http://www.andi.com.co/Uploads/ANALISIS%20-%20ENCUESTA%20DE%20TRANSFORMACION%20DIGITAL%202019%20-%20ANDI.pdf>.
- ASDF (Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas) (2020), *Diagnóstico general: nivel de desarrollo de la industria 4.0 en Brasil, Chile, México y Uruguay. Proyecto: Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay*, noviembre.
- Belton, K. B. y otros (2019), "Who will set the rules for smart factories?", *Issues in Science and Technology*, vol. 35, N° 3.
- Blanchet, M. y otros (2016), "The Industrie 4.0 transition quantified: how the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model", *Think Act. Beyond Mainstream*, Munich, Roland Berger.
- Burkacky, O. y otros (2020), *The 5G Era*, McKinsey & Company, enero.
- Centro Europeo de Estrategia Política (2017), "Enter the data economy: EU policies for a thriving data ecosystem", *EPSC Strategic Notes*, N° 21, Bruselas, Comisión Europea.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2021a), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/portada.html>.
- _____ (2021b), *Tecnologías digitales para un nuevo futuro* (LC/TS.2021/43), Santiago.
- CEPAL/IPEA (Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Instituto de Investigación Económica Aplicada) (2018), *Avaliação de desempenho de Brasil Mais Produtivo* (LC/TS.2018/99), Brasilia.
- Cimoli, M. y G. Porcile (2013), "Tecnología, heterogeneidad y crecimiento: una caja de herramientas estructuralistas", *serie Desarrollo Productivo*, N° 194 (LC/L.3736), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- CNI (Confederación Nacional de la Industria) (2018), "Investimentos em Indústria 4.0" [en línea] <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/pqt-investimentos-em-industria-40/>.

- _____ (2017), *Oportunidades para a Indústria 4.0: aspectos da demanda e a oferta no Brasil*, Brasilia.
- CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) (2017), "Firman acuerdo para aumentar profesionales y técnicos en TIC para la industria 4.0", 24 de octubre [en línea] https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/24-10-2017;jsessionid=mYbWerGuWlt5hfrFnHOeGClwwRKbRPCJ3HEkqQUo3j1kOJMvsC!-1853597974!NONE.
- DNP (Departamento Nacional de Planeación) (2018), *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022. Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*, Bogotá [en línea] <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Bases-del-Plan-Nacional-de-Desarrollo-2018-2022.aspx>.
- El Dínamo* (2019), "Goran Miladinov sobre la industria 4.0: 'Chile está muy desarrollado en materia de automatización'", 5 de abril [en línea] <https://www.eldinamo.cl/educacion/2019/04/05/goran-miladinov-sobre-la-industria-4-0-chile-esta-muy-desarrollado-en-materia-de-automatizacion/>.
- ESI ThoughtLab (2020), "Driving cybersecurity performance: improving results through evidence-based análisis" [en línea] https://econsultsolutions.com/wp-content/uploads/2020/06/FINAL_ESITL-Driving-Cybersecurity-Performance_ebook_2020.pdf.
- FINEP (Financiadora de Estudios y Proyectos) (2021), "Finep Inovacred 4.0" [en línea] <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/inovacred4-0>.
- Foro Económico Mundial/McKinsey & Company (2020-2021), *Libros Blancos* sobre el proyecto "Global Lighthouse Network", varios números.
- GAIA (Asociación de Industrias de Conocimiento y Tecnología de Euskadi) (2019), [en línea] <https://gaia.es/>.
- Gallego, J. M. y L. Gutiérrez (2015), "ICTs in Latin American and the Caribbean firms: stylized facts, programs and policies", *IADB Discussion Paper*, N° IDB-DP-394, Washington, D.C., Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- GSMA (GSM Association) (2020), *The Mobile Economy 2020*, Londres.
- Huawei (2020), "Global Connectivity Index (GCI)" [en línea] <https://www.huawei.com/minisite/gci/en/>.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2021), "Intercambio comercial argentino", *Informes Técnicos*, vol. 5, N° 1, Buenos Aires.
- _____ (2019), "Informes Técnicos" [en línea] <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Institucional-Indec-InformesTecnicos>.
- ITC (Centro de Comercio Internacional) (2020), "Trademap database" [en línea] <https://www.trademap.org/Index.aspx>.
- Kaspersky (2020), "América Latina en 2020: ataques cibernéticos, sus consecuencias y lo que se avecina", 19 de noviembre [en línea] <https://securelist.lat/america-latina-en-2020-ataques-ciberneticos-sus-consecuencias-y-lo-que-se-avecina/91919/>.
- Kupfer, D., J. C. Ferraz y J. Torracca (2019), "A comparative analysis on digitalization in manufacturing industries in selected developing countries: Firm-level data on Industry 4.0", *Working Paper series*, N° 16, Viena, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
- Lewis J. (2018), *Economic Impact of Cybercrime*, Centro de Estudios Estratégicos e Internacionales (CSIS), Washington, D.C., febrero.
- Lódola, A. (2008), "Contratistas, cambios tecnológicos y organizacionales en el agro argentino", *Documentos de Proyectos* (LC/W.176), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- MCTIC (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones) (2017), *Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil*, Brasilia.
- MIID (Ministerio de Industria y Desarrollo de Infraestructuras) (2018), "Digitalization of Kazakhstan's Industry", Nursultán.
- Ministerio de Pymes y Empresas Emergentes (2021), "Vision and Goals" [en línea] <https://www.smart-factory.kr/eng/vsnGoal?menuId=01>.
- Motta, J., H. Moreno y R. Ascúa (2019), "Industria 4.0 en mipymes manufactureras de la Argentina", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2019/93), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) y otros (2020), *Perspectivas Económicas de América Latina 2020: transformación digital para una mejor reconstrucción*, París, OECD Publishing.
- OIT (Organización Internacional del Trabajo) (2020), ILOSTAT [en línea] <https://ilostat.ilo.org/es/>.

- ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) (2019a), *Industrial Development Report 2020: Industrializing in the Digital Age*, Viena.
- _____ (2019b), "Competitive Industrial Performance Index" [en línea] <https://stat.unido.org/cip/>.
- Pfeiffer, S. (2017), "The vision of 'Industrie 4.0' in the making a case of future told, tamed, and traded", *NanoEthics*, vol 11, N° 1, Springer.
- Pohang Technopark Foundation (2019), "The best commercialization support organization that adds value to technology", Pohang Technopark.
- Rovira S., P. Santoleri y G. Stumpo (2013), "Incorporación de TIC en el sector productivo: uso y desuso de las políticas públicas para favorecer su difusión", *Entre mitos y realidades: TIC, políticas públicas y desarrollo productivo en América Latina* (LC/L.3600), S. Rovira y G. Stumpo (comps.), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Sommer, L. (2015), "Industrial revolution – Industry 4.0: are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 8, N° 5.
- Subsecretaría de Telecomunicaciones (2021), "Informe: resultado de los concursos públicos 5G (700 MHz – AWS – 3.5 GHz – 26 GHz)" [en línea] <https://www.subtel.gob.cl/concursos5g/>.
- The Conference Board (2020), "Total Economy Database" [en línea] <https://conference-board.org/data/economydatabase>.
- UIA (Unión Industrial Argentina) (UIA) (2021a), *Informe de Indicadores Laborales de la Industria*, varios números, Buenos Aires, Centro de Estudios.
- _____ (2021b), "Relevamiento UIA", Buenos Aires, Centro de Estudios.
- UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo) (2019), "Contribution of Turkey to the CSTD 2018–19 priority theme on 'the impact of rapid technological change on sustainable development'", Viena [en línea] https://unctad.org/system/files/non-official-document/CSTD_2019_IPanel_T1_RapidTech_con11_Turkey_en.pdf.

La innovación, automatización y digitalización de los procesos productivos conllevan numerosas externalidades positivas para las empresas. Entre esos efectos se incluye un aumento de la competitividad y la productividad pues se mejoran los procesos operativos, se facilita el acceso a los nuevos mercados, se fomenta la diferenciación de los productos y se optimiza toda la cadena de valor. Las tendencias de la fabricación inteligente aprovechan esos cambios y ponen de relieve las oportunidades y los retos para las empresas. Existen varios factores que condicionan la adopción de nuevas tecnologías en las empresas de América Latina y el Caribe y que dificultan la innovación y el cambio tecnológico. Estos aspectos pueden superarse si se diseñan estrategias adecuadas que propicien el entorno y los incentivos necesarios para promover la innovación. El presente documento ofrece un marco analítico para diseñar esas estrategias, que se basa en el estudio de un conjunto de iniciativas, tanto públicas como privadas, que han tratado de impulsar la fabricación inteligente. Se espera que sirva de guía e inspiración para seguir promoviendo el cambio tecnológico y las políticas de industrialización en la región.

