

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

RFP/UNIDO/7000003530

Noviembre 2020

Factor
Ideas for change



ASDF

Americas Sustainable Development Foundation



CTCN

CLIMATE TECHNOLOGY CENTRE & NETWORK





TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	5
2.	La Industria 4.0	6
2.1	Revolución Industrial e Industria 4.0	6
2.2	Contexto tecnológico de la Industria 4.0	7
2.3	Tecnologías de la Industria 4.0	9
2.4	Industria 4.0 y Economía Circular	11
2.5	La Industria 4.0 en el mundo	14
2.6	Indicadores para medir la Industria 4.0 en cada país	16
3.	Análisis de la Industria 4.0 en Brasil, Chile, México y Uruguay	17
3.1.	Brasil	17
3.1.1.	Posición general del país en la cuarta revolución industrial	17
3.1.2.	Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave	17
3.1.3.	Adopción de las tecnologías 4.0 por sector productivo	19
3.2.	Chile	20
3.2.1.	Posición general del país en la cuarta revolución industrial	20
3.2.2.	Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave	20
3.2.3.	Adopción de las tecnologías 4.0 por sector productivo	21
3.3.	México	23
3.3.1.	Posición general del país en la cuarta revolución industrial	23
3.3.2.	Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave	23
3.3.3.	Adopción de las tecnologías 4.0 por sector productivo	24
3.4.	Uruguay	26
3.4.1.	Posición general del país en la cuarta revolución industrial	26
3.4.2.	Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave	26
3.4.3.	Adopción de las tecnologías 4.0 por sectores productivo	26
3.5.	Análisis comparado	28
4.	Conclusiones	31
4.1.	Conclusiones generales	31
4.2.	Conclusiones específicas para los países analizados	32
5.	Anexo 1. Indicadores	34
6.	Anexo 2. Datos	40
7.	Referencias	41



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la complejidad industrial a través del tiempo	6
Figura 2. Módulos de tecnologías de Producción Digital Avanzada.	8
Figura 3. Tecnologías de la Industria 4.0.	9
Figura 4. Generaciones de tecnología digital aplicadas a la manufactura	14
Figura 5. Tasas de adopción de tecnologías.....	15
Figura 6. Indicadores relativos a la evaluación de la Industria 4.0 en los países.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alineamiento de tecnologías digitales en la Economía Circular.....	8
Tabla 2. Indicadores por país.....	37



ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACTI	Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información
AHK	Cámara de Comercio e Industria Uruguayo-Alemana
AMITI	Asociación Mexicana de la Industria de Tecnologías de Información
CAD	Diseño asistido por ordenador
CAIME	Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica
CAM	Sistemas de fabricación asistida
CIM	Fabricación integrada por sistemas de información
CIU	Cámara de Industrias de Uruguay
CNI	Confederación Nacional de la Industria
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
CUTI	Cámara Uruguaya de Tecnologías de la Información
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
EE. UU.	Estados Unidos
FJR	Fundación Julio Ricaldoni
GTI	Grupo de Trabajo para la industria
IoT	Internet de las cosas
ISIC	International Standard Industrial Classification
MES	Sistemas computarizados en tiempo real
MVA	Manufacturing Value Added
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ONUUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PDA	Producción Digital Avanzada
PECiTI	Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación
PIB	Producto Interior Bruto
PPP\$	Purchasing Power Parity
PSS	Product-Service System
QS	Quacquarell Symonds
SCADA	Sistemas de Supervisión de Control y Adquisición de Datos
SOFOFA	Sociedad de Fomento Fabril
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TPD	Tecnologías de Producción Digital
TDI	Intensivo en Tecnología y Digitalización
US\$	Dólares de Estados Unidos
WEF	World Economic Forum



1. Introducción

Este informe presenta los resultados del entregable 5.1 **diagnóstico general de la Industria 4.0 en cada país participante** como parte del Producto 5 del **proyecto Evaluación del Estado Actual de la Economía Circular para desarrollar una hoja de ruta para el Brasil, Chile, México y Uruguay RFP/UNIDO/7000003530**.

El objetivo de este documento es presentar un diagnóstico general para cada país, analizando su situación actual y el potencial de implantación de la **Industria 4.0** en función de las variables de gestión facilitadoras para su impulso. Para ello, se realizará un análisis de los avances actuales en las principales tecnologías de la cuarta revolución industrial que son compatibles con la Economía Circular.

Este documento consta de tres secciones principales. La **primera sección** es una revisión general de la Industria 4.0 dentro del marco de la sostenibilidad y la Economía Circular. La **segunda sección** es un análisis del estado general de la Industria 4.0 y de las tecnologías relativas a la Industria 4.0 en Brasil, Chile, México y Uruguay. Finalmente, la **tercera sección** está compuesta de una serie de conclusiones dirigidas a la creación de la hoja de ruta anteriormente mencionada.



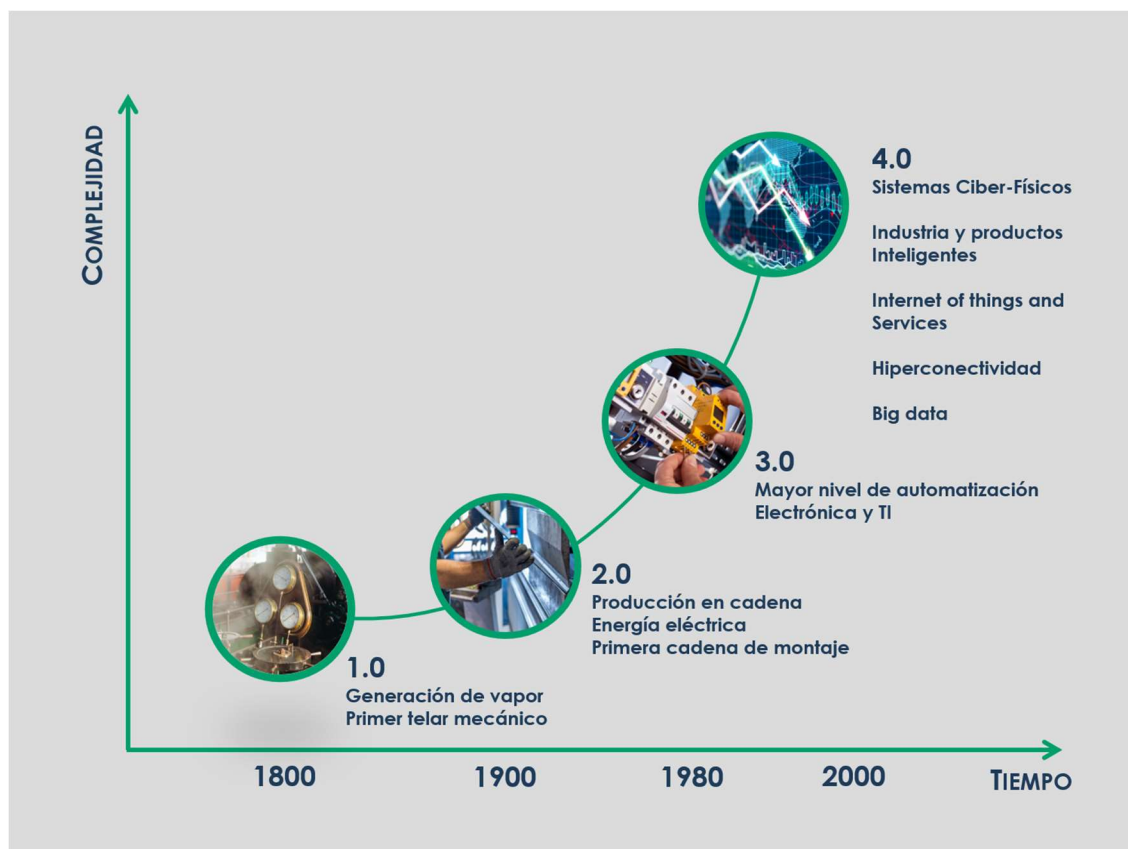
2. La Industria 4.0

2.1 Revolución Industrial e Industria 4.0

Para entender la cuarta revolución industrial, o Industria 4.0, es necesario volver la vista atrás hacia las anteriores revoluciones industriales.

La primera revolución industrial comenzó con la creación de las máquinas de agua y vapor, a la que le siguió con la segunda revolución industrial, la división del trabajo y la introducción de controladores lógicos programables para la automatización de la fabricación. A partir de 1960, con el desarrollo de los semiconductores, internet y los ordenadores centrales y personales se consolidó la tercera revolución industrial. **Los recientes avances tecnológicos están impulsando una nueva era denominada Industria 4.0, que en última instancia se trata de propiciar un incremento de la convergencia de diversas tecnologías (digitalización, nanotecnologías, biotecnologías y nuevos materiales) en la producción, convirtiéndola de esta manera en una “producción inteligente”.**

Figura 1. Evolución de la complejidad industrial a través del tiempo
Fuente: elaboración propia a partir de (Futurizable, s.f.)



Estas revoluciones no solo supusieron mejoras tecnológicas, sino que también obligaron al mercado a adaptarse a los clientes, ya que la relación de éstos con los productos ha evolucionado a lo largo del tiempo y, por lo tanto, las industrias se ven obligadas a aumentar la eficiencia de los productos mientras hacen frente a entornos complejos y a una producción flexible. Esto incide directamente sobre las claves de competitividad



organizacional ya que esta pasará a depender principalmente de los procesos de escalamiento tecnológico industrial. Estas nuevas tecnologías van a ser responsables del incremento de la eficiencia y productividad e implicarán una potencial mejora en el impacto ambiental del proceso. Se ha de resaltar que muchas de las tecnologías implicadas en lo que se denomina Industria 4.0 han evolucionado y surgido de conceptos tecnológicos de automatización y organizativos de gestión ya existentes en fases anteriores. Ello evidencia la existencia de un proceso evolutivo tecnológico y organizativo sobre los principios de la gestión excelente de la producción y por ello en muchas ocasiones se solapan.

2.2 Contexto tecnológico de la Industria 4.0

El término Industria 4.0 fue creado inicialmente por el Gobierno de Alemania. Se refiere a un conjunto de cambios tecnológicos en los procesos de fabricación y establece una serie de prioridades de un marco político coherente con el objetivo de mantener la competitividad global de la industria alemana.

La Industria 4.0 describe un nuevo nivel de organización y control de la cadena de valor, basado en la tecnología y los dispositivos que se comunican de forma autónoma entre sí. El concepto tiene en cuenta la creciente informatización de las industrias manufactureras, en las que los objetos físicos se integran perfectamente en la red de información.

Así, los sensores, las máquinas, los componentes y los sistemas informáticos estarían conectados a lo largo de la cadena de valor más allá de los límites de las empresas individuales, de manera que estos sistemas interconectados podrían interactuar entre ellos y analizar los datos para prever errores, configurarse a ellos mismos y adaptarse a posibles cambios requeridos por un proceso productivo cada vez más flexible. Es decir, las tecnologías de la Industria 4.0 permiten la vinculación del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el digital (sistemas), habilitando la colaboración entre dispositivos y sistemas, así como con otros sistemas externos.

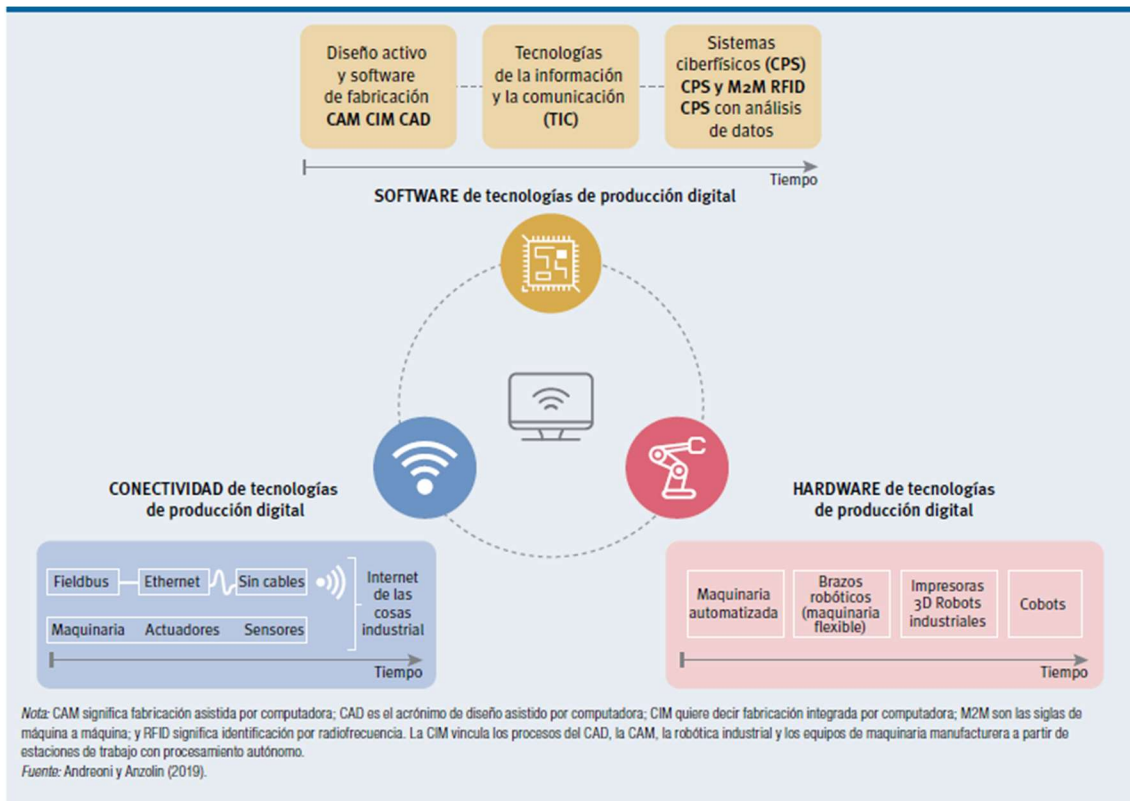
Como se afirma en el informe sobre el desarrollo industrial 2020 (ONUDI, 2019), las tecnologías de producción digital avanzada son el resultado de la combinación de tres componentes: hardware, software y conectividad. Este conjunto de tecnologías hardware es muy similar a su etapa predecesora de la tercera revolución industrial (herramientas, equipos complementarios de los sistemas automatizados inteligentes, robots e impresoras 3D para la fabricación aditiva). Lo que diferencia a estas máquinas ahora es su conectividad, flexibilidad y funcionalidad. La conectividad se logra a través de los sensores, software e internet industrial, recogiendo y recopilando una gran cantidad de datos en tiempo real, creándose así una red inteligente diseñada para detectar procesos productivos y abrir el potencial de la producción descentralizada, imbricada directamente con los principios de Economía Circular, que buscan establecer una relación funcional entre eficiencia y reducción del impacto ambiental.

Esta relación entre conectividad, hardware y software, que genera finalmente una red inteligente, se representa perfectamente en el siguiente gráfico presentado en el Informe sobre el desarrollo industrial 2020 (ONUDI, 2019).



Figura 2. Módulos de tecnologías de Producción Digital Avanzada.

Fuente: Informe sobre el desarrollo industrial 2020 (ONUDI, 2019)



Esta red inteligente puede mejorar su conectividad a través de la utilización de softwares, integrando los sistemas de fabricación asistida (CAM), la fabricación integrada por sistemas de información (CIM), el diseño asistido por ordenador (CAD) y las tecnologías de la información ya existentes, permitiendo el análisis de grandes volúmenes de datos y conectando la red para su interacción con el mundo físico. De esa manera, se genera una industria inteligente, con producción descentralizada y que se adapta a los cambios en tiempo real, difuminando las barreras entre las personas y las máquinas (Raül Blanco, 2017).



2.3 Tecnologías de la Industria 4.0

Las tecnologías de la industria 4.0 están dirigidas a implantar una fabricación avanzada, posibilitar la integración de las cadenas de valor y conectar al consumidor con el proceso productivo y modelo de negocio. En este contexto se han desarrollado una serie de tecnologías cuya implantación dependerá de la posición competitiva de cada empresa en el mercado, y de las características del sector en cuestión. Si bien es cierto que el sector manufacturero es el principal tractor de las tecnologías de la industria 4.0, ello no es óbice para no considerarlas adecuadamente en el resto de los sectores productivos, puesto que su capacidad competitiva a futuro también dependerá de su implantación.

El siguiente gráfico muestra las tecnologías de la Industria 4.0:

Figura 3. Tecnologías de la Industria 4.0.

Fuente: (Can, s.f.)



Las tecnologías de la Industria 4.0 son las siguientes (listado elaborado a partir de (ONU DI, 2019)):

- **Big Data analytics y Blockchain:** se trata de la gestión y desglose de un gran volumen de datos complejos y con una velocidad de crecimiento alta, de tal magnitud que son imposibles de procesar mediante herramientas convencionales, en el tiempo necesario para que sean útiles.



Cada acción realizada por los usuarios, como la pulsación en el teclado, una consulta a un buscador digital o una transacción con tarjetas, queda registrada, creando un rastro de valiosa información. Esta información es clave ya que refleja las preferencias de los usuarios, los gustos actuales y futuras tendencias que se pueden llegar a predecir a través de patrones de predicción. Ello presenta a modo de ejemplo el potencial de utilización de Big Data.

Esta tecnología ha puesto el manejo inteligente de datos al servicio de las organizaciones para permitir que estas puedan ofrecer mejores productos a sus clientes. **Sin embargo, esta tecnología sigue involucrando algunos desafíos relacionados sobre todo con la seguridad de los datos y existen aún cuestiones pendientes de resolver, como son la propiedad de los datos, el uso de la información de los usuarios y la autorización por parte de estos.** Por este motivo, se plantea el aprovechamiento de esta tecnología en conjunto con el Blockchain (tecnología de base de datos distribuida y asegurada por criptografía), ya que de su combinación el sistema de información ganará en seguridad, recopilación y clasificación precisa de datos y transparencia.

Así, dentro de la Industria 4.0, la correcta gestión y análisis de estos datos ha de jugar un papel clave, sin olvidar que son los profesionales los que en última instancia serán los responsables de aportar valor en la integración y proyección de los datos, permitiendo dar un salto cualitativo a la empresa.

- **Robótica colaborativa/avanzada:** la automatización es vital para las fábricas, ya que permite optimizar los procesos, ahorrando energía, costes y tiempo. Los robots colaborativos (cobots) fueron creados para ayudar a las personas realizando tareas de automatización e impulsar la productividad. Los cobots están diseñados para garantizar la seguridad de los trabajadores cuando entran en contacto directo con el robot mientras cumplen con su tarea.
- **Internet de las cosas:** se trata de la evolución de internet. Esta evolución supone un cambio radical en la calidad de vida de las personas y en cómo se relacionan, ya que ofrece una gran cantidad de nuevas oportunidades permitiendo la conexión de dispositivos y la interacción entre ellos o bien con dispositivos centralizados.
- **Computación en la nube:** se trata de plataformas que permiten el acceso colaborativo y la recuperación de grandes cantidades de datos desde cualquier lugar o dispositivo, permitiendo el flujo masivo de datos. Estas plataformas no solo permiten el almacenamiento de datos, sino que también permiten utilizar softwares en la red sin disponer físicamente de las infraestructuras.
- **Fabricación aditiva (impresión 3D):** la impresión 3D permite producir objetos tridimensionales a partir de modelos virtuales facilitando la creación de prototipos, la fabricación de productos personalizados y una producción descentralizada. Así, mediante impresoras 3D se fabrican piezas complejas en un tiempo reducido a un coste competitivo ya que se reducen los costes logísticos.
- **Ciberseguridad:** se trata de la protección de la información digital. Debido a la gran evolución que han supuesto las nuevas tecnologías, la protección de los sistemas de información y comunicación gana importancia, especialmente en un momento en el que la interconexión entre dispositivos y sistemas está presente. Así, la ciberseguridad asegura la protección, privacidad y seguridad de las empresas, asegurando toda la información disponible sobre las mismas.



- **Realidad aumentada:** la realidad aumentada utiliza el entorno físico para proporcionar datos e información en tiempo real. Esta tecnología es una herramienta que puede ser usada para dar soporte a los procesos productivos y que mejora la toma de decisiones a partir de la información que proporciona.
- **Integración horizontal y vertical de sistemas:** los sistemas permiten integrar las tecnologías operacionales con las tecnologías de la información y la comunicación. Conectan máquinas con máquinas, máquinas con productos, e integran las distintas áreas de la unidad productiva, impactando sobre la gestión interna de la empresa. Pero, además, permiten a través de plataformas digitales, la conexión entre la empresa y otros actores de su cadena de valor como proveedores, actores del sistema de logística y transporte, llegando hasta el cliente.
- **Inteligencia artificial y aprendizaje automático:** dirigido al desarrollo de técnicas para que las máquinas puedan aprender y tomar decisiones por sí mismas. Este aprendizaje es posible gracias a la detección de patrones dentro de un conjunto de datos de manera que es el propio programa el que predice qué situaciones podrían darse o no. Estos cálculos son los que les permiten aprender para, finalmente, generar decisiones y resultados fiables. **La denominada inteligencia artificial y los sensores**, combinados con la computación de la nube, ofrecen un abanico cada vez mayor de soluciones que permiten un salto cualitativo en cuanto a la flexibilidad, uno de los factores clave de la Industria 4.0.
- **Sensores:** lo que aportan los sensores al sistema es la conectividad de los elementos del hardware y constituyen un elenco de accionadores eléctricos y sensoriales en los elementos físicos. Todo ello se complementa con la aplicación de internet en las empresas para la transmisión de datos y abrir así la puerta a un concepto revolucionario como es la "producción descentralizada".

2.4 Industria 4.0 y Economía Circular

Desde el punto de vista práctico, se puede afirmar que todas las tecnologías digitales son aplicables, en un mayor o menor grado de complejidad, integración y flexibilidad, a todos los modelos de negocio que desde la economía circular se proponen. Así pues, lo más interesante, en este sentido, es alinear las tecnologías utilizadas en la Industria 4.0 con los tres procesos principales subyacentes en el diseño de todo modelo de negocio circular:

- **Proceso productivo:** afecta a la forma en que se produce y se opera, posibilita el aprendizaje en tiempo real e implica simultáneamente a todos los agentes de la cadena de valor. Esta red de agentes estará conectada desde cada punto y por ello se potencia la capacidad de ajustar la producción a la perspectiva del cliente y situación de la demanda incrementando así la **eficiencia de la producción**.
- **Reducción del "time to market":** este proceso es un pilar de la capacidad de cambio de las empresas, ya que trata de acortar el tiempo de puesta en mercado de los productos y servicios diseñados. Su excelencia mitiga los riesgos de la innovación, y mejora la capacidad de la organización de incrementar su



rentabilidad debido a la posibilidad de incorporar rentabilidades óptimas en los primeros estadios de acceso al mercado.

- **Diseño de la propuesta de valor:** trata de mejorar la capacidad de integrar las expectativas de los grupos de interés en la estrategia organizacional, dando la posibilidad de introducir nuevos productos en los mercados y servicios, consolidando así la perspectiva colaborativa y de Responsabilidad Social Corporativa subyacente en la economía circular.

En definitiva, todos los modelos de negocio circular se soportan en estos tres procesos y su diferencia consiste en la importancia de cada proceso en el perfil del diseño e implantación del propio modelo de negocio.

A continuación, se presenta un cuadro que identifica las tecnologías digitales más utilizadas en cada uno de los procesos de la economía circular.

Tabla 1. Alineamiento de tecnologías digitales en la Economía Circular.

Fuente: elaboración propia

Proceso	Tecnología de la Industria 4.0	Objetivo principal
Proceso Productivo	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización digital sin sensores • Robots industriales, cobots • Automatización digital con proceso de control por sensores • Utilización de sistemas computarizados en tiempo real (MES) para optimizar proceso productivo • Sistemas de Supervisión de Control y Adquisición de Datos (SCADA) • Integración vertical y horizontal, Inteligencia artificial y aprendizaje • Sistemas CAD/CAM • Ciberseguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia • Mejora de la calidad • Reducción del impacto ambiental. • Producción flexible,
Desarrollo/Time to market	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas CAD/CAM • Sistemas integrados de ingeniería para desarrollo y manufactura de productos • Manufactura aditiva, prototipada e impresión 3D • Simulación, análisis virtual de modelos (finite elements, Computational Fluid Dynamic) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción tiempo "time to market" • Ventaja competitiva del producto en el mercado • Incremento en rentabilidad e inversión de innovación • Reducción del impacto ambiental
Diseño de la Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Big Data • Blockchain • Uso de computación en la nube • Incorporación de servicios digitales en los productos (IoT, PSS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la resiliencia organizacional • Orientación al cliente • Confianza de clientes • Reducción del impacto ambiental

Se ha de tener en cuenta también que esta es una alineación teórica, ya que en la práctica estas tecnologías pueden superponerse sobre los diferentes procesos.



La integración de la Industria 4.0 en la Economía Circular a través de sus procesos principales busca:

- Incrementar la capacidad de adaptación a la demanda.
- Mejorar en la personalización del producto.
- Diseñar/producir/vender en menos tiempo.
- Añadir servicios a los productos físicos ofertados.
- Crear series de producción más cortas y flexibles.
- Generar procesos de producción distribuida.
- Generar procesos de simbiosis industrial.
- Integrar grandes volúmenes de datos de diferentes sistemas para convertirlos en información estratégica para la gestión excelente.
- Reducir el impacto ambiental de forma significativa.
- Creación de empleo de calidad.

Esta integración de Economía Circular e Industria 4.0 va a propiciar la creación de un sistema industrial restaurativo o regenerativo por intención y diseño. Un modelo de producción y consumo que sustituye el concepto de fin de vida por el de restauración, se orienta hacia el uso de energía renovable, elimina el uso de productos químicos tóxicos que perjudican la reutilización y el retorno a la biosfera, y aspira a la eliminación de los residuos mediante el diseño superior de materiales, productos, sistemas y modelos de negocio (Ellen MacArthur Foundation, 2012). El objetivo principal de toda estrategia de Industria 4.0 es alinear la capacidad y estrategia tecnológica de cada **región y organización** con su potencial circular para el incremento de su posición competitiva.

El proceso de alineamiento no es estándar sino específico para cada país/empresa porque dependerá principalmente de cuatro factores: de la calidad de la gobernanza y estructura institucional, la solidez de la estructura productiva existente, su potencial tecnológico y de la concienciación/preferencias de los consumidores.

Históricamente, todas las revoluciones tecnológicas han generado brechas de implantación entre las empresas y los países. Este riesgo está presente constantemente en la realidad actual, aunque se puede afirmar que en este momento estamos en una situación inicial que da cabida a todos para integrarse en el panorama tecnológico emergente.

En definitiva, si se plantea la Economía Circular como el conjunto de principios de producción, consumo, creación de valor y diseño de modelos de negocio, basados en la sostenibilidad, la Industria 4.0 pasa a ser la herramienta inherente para su implantación. Es más, para determinar el potencial circular de las empresas se habrá de comenzar por el análisis de las tecnologías aplicables al modelo de negocio.

De esta manera, Economía Circular e Industria 4.0 se convierten en un binomio inseparable, lo que implica que es imposible comprender cada una de ellas por separado.



2.5 La Industria 4.0 en el mundo

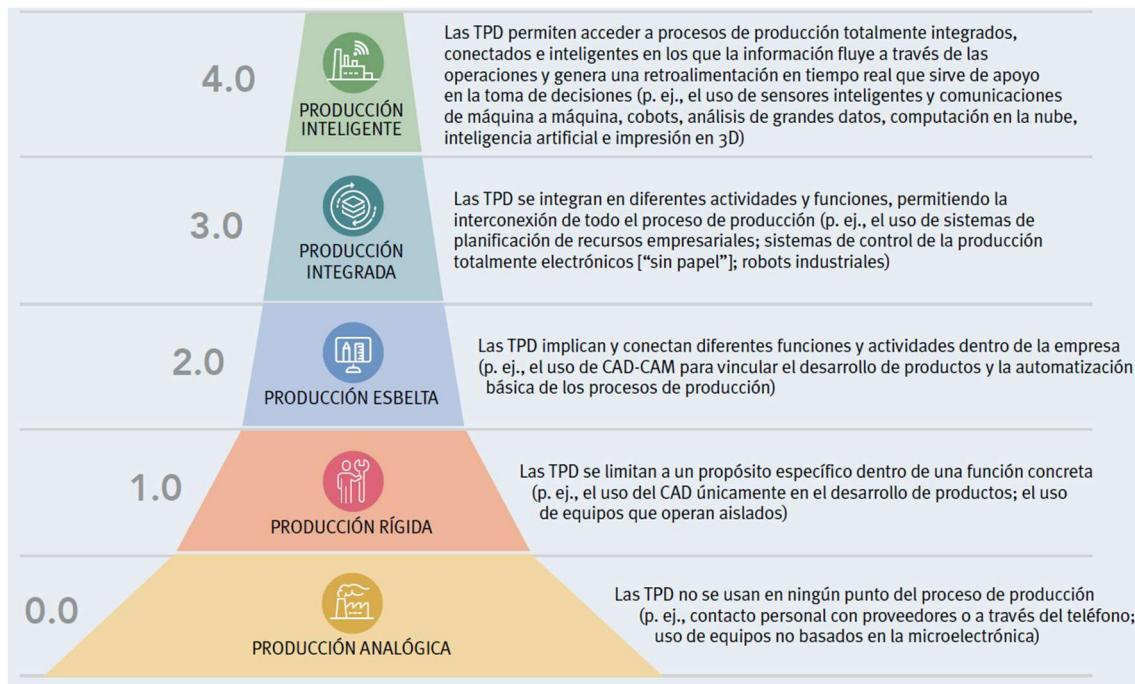
El desarrollo global de la Industria 4.0 se halla en una fase inicial, con un liderazgo concentrado en un pequeño grupo de países (ONUDI, 2019). Por el momento, su aprovechamiento e implantación responde a un tipo específico de industria **manufacturera**, aunque la industria 4.0 tiene aplicación en el resto de los sectores económicos (como, por ejemplo, en la agricultura).

En el contexto internacional existe una gran brecha entre los países a la delantera y el resto de los países en la utilización de tecnología de producción avanzada. De acuerdo con la información facilitada por ONUDI (ONUDI, 2019), el 91 % del conjunto de patentes de Tecnologías de Producción Avanzada (PDA) están en manos de diez países. Este grupo lidera mundialmente el conocimiento y el mercado: EE. UU., Japón, Alemania, China, Taiwán, Francia, Suiza, Reino Unido, la República de Corea y los Países Bajos. En segundo lugar, hay otro grupo de 40 países que representan el 8 % de las patentes y suponen casi la mitad de todos los bienes que incorporan tecnología de PDA. En este grupo se encuentran, México y Brasil (ONUDI, 2019).

Otro aspecto que se ha de comentar en el contexto internacional es que las distintas Tecnologías de Producción Digital (TPD) aplicadas a la industria manufacturera coexisten simultánea e independientemente de su grado de evolución. Esta superposición de las generaciones de tecnología digital se describe perfectamente en la Figura 4.

Figura 4. Generaciones de tecnología digital aplicadas a la manufactura

Fuente: Informe sobre el desarrollo industrial 2020 (ONUDI, 2019)



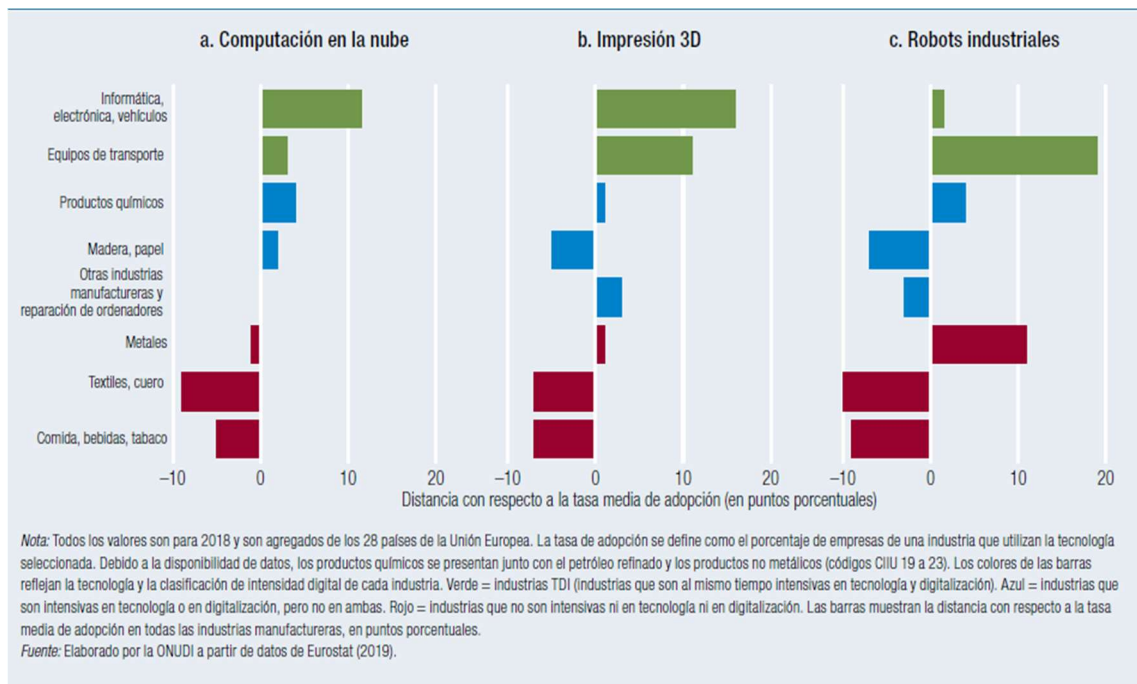
De esta representación se puede concluir que la directriz que marca esta evolución es la integración y la flexibilidad de los procesos productivos que posibilitan la producción



descentralizada. La clave de esta evolución e integración está en la transformación constante de las capacidades de las empresas, rutinas, estandarización, calidad, aprendizaje constante, excelencia en la gestión, integración de los modelos de innovación, gestión ambiental, seguridad y calidad de la producción y gestión integral por procesos. Estas capacidades, sobre todo, se desarrollan en las empresas manufactureras y se desarrollan de forma progresiva.

Respecto de los sectores industriales, la difusión de las tecnologías digitales tampoco es uniforme, sino que depende del sector industrial, en función de su nivel de intensidad tecnológica y con variables competitivas diferentes. En este sentido, la Figura 5 ilustra el grado de adopción de las diferentes tecnologías de la Industria 4.0 por los sectores industriales en Europa. La distribución de tecnologías no es uniforme por industria y tamaño, sino que se concentra en sectores como la industria informática, la electrónica, o los equipos de transporte.

Figura 5. Tasas de adopción de tecnologías de la Industria 4.0
Fuente: Informe sobre el desarrollo industrial 2020 (ONUDI, 2019)





2.6 Indicadores para medir la Industria 4.0 en cada país

Para medir el estado general de la Industria 4.0 en los países objeto de estudio, se han seleccionado, según el método utilizado por el World Economic Forum (World Economic Forum, 2018), dos tipos de indicadores: aquellos que reflejan la capacidad de cambio de las estructuras productivas en los países, y aquellos que evalúan el dinamismo de la transformación tecnológica en cada país.

El primer grupo de indicadores refleja la capacidad de cambio de cada país e incluye:

- Por una parte, el know-how del país para generar productos competitivos específicos en el mercado internacional, medido a través de la complejidad económica (indicador nº1);
- Por otra, el peso de la manufactura en el producto interior bruto (indicador nº2)

El segundo grupo de indicadores hace referencia a las palancas de cambio susceptibles a catalizar la Industria 4.0 y representan, en definitiva, el dinamismo de cada país para afrontar el cambio de paradigma. A nivel conceptual se distinguen tres campos de análisis: la capacidad de innovación de las empresas, la calidad del capital humano nacional para afrontar las nuevas tecnologías y la calidad de la gobernanza del país.

- **La capacidad de innovación de las empresas** se mide mediante ocho indicadores: el estado de desarrollo de los clusters (indicador nº3), el gasto en proyectos de investigación y desarrollo (indicador nº4), el porcentaje de acceso a internet (indicador nº5), el impacto de las TIC sobre los nuevos productos y servicios (indicador nº6), el número de patentes existentes (indicador nº7), el número de artículos científicos y técnicos publicados (indicador nº8), el número de empresas apostando por la innovación disruptiva (indicador nº9), y el índice global de innovación (indicador nº10).
- **La calidad del capital humano nacional** se mide mediante cuatro indicadores: el porcentaje de personas trabajadoras capacitadas y preparadas para trabajar en los temas y sectores de la Industria 4.0 (indicador nº11), el porcentaje de mujeres graduadas en ciencia e ingeniería (indicador nº12), la disponibilidad de científicos e ingenieros en el país (indicador nº13), y la calidad de las universidades (indicador nº14)
- **La calidad de gobernanza del país** se mide mediante tres indicadores: eficiencia y eficacia regulatoria (indicador nº15), visión futura de la Administración (indicador nº16), y percepción del grado de seguridad jurídica (indicador nº17).

En el **Anexo 1** se incluye la definición de cada indicador, la unidad, la fuente y las razones para su consideración. También se incluyen algunas notas sobre la importancia relativa de cada elemento y su contribución al cambio de paradigma, así como el procedimiento utilizado para la estandarización de cada uno de los indicadores.



3. Análisis general de la Industria 4.0 en Brasil, Chile, México y Uruguay

A continuación, se detalla para cada país un marco de análisis soportado en tres puntos: posición general, adopción del paradigma por los diferentes agentes, y adopción de tecnologías 4.0.

3.1. Brasil

3.1.1. Posición general del país en la cuarta revolución industrial

Brasil se sitúa a nivel internacional en una posición intermedia en lo que se refiere a su capacidad de asumir la Industria 4.0, ya que tanto los dos indicadores que reflejan la línea base de la situación de su estructura productiva como los indicadores correspondientes a los estimuladores (drivers) de transformación se sitúan en una puntuación media. La mayor debilidad que presenta Brasil está relacionada con la calidad de su estructura institucional (indicadores número 15, 16 y 17).

Actualmente, Brasil es un país que presenta un atractivo en cuanto a inversiones internacionales se refiere, aspecto que debería aprovecharse para generar la cooperación sistemática con los países inversores y que se produzca, de esta manera, la transferencia tecnológica necesaria.

Brasil ocupa la novena plaza respecto al valor añadido de la industria manufacturera en un ranking de 100 países, con 226.520,3 US\$ millones en el año 2018 (World Economic Forum, 2018). Esto hace que su potencial de mejora, inversión y escala sea muy importante y puede ser la fortaleza clave en su camino hacia la transformación tecnológica y circular pretendida.

Otro de los aspectos a resaltar del país, de cara a comprender su potencial para asumir la tecnología de la Industria 4.0, es el peso relativo en el valor añadido de las empresas hi-tech, en su grado medio e intensivo, sobre el sector manufacturero global. En el caso de Brasil, supone un 35.2 %, lo que supone un potencial de empuje bueno de la Industria 4.0 en el ranking internacional. Los países líderes presentan unos valores, en este indicador, con rango entre el 45 % y 63 % máximo, como es el caso de Suiza (World Economic Forum, 2018).

El World Economic Forum sitúa a Brasil en el puesto número 41 de 100 en términos de capacidad de cambio de la estructura de producción y en el número 47 en palancas de cambio relativas a sus drivers de producción (tecnología e innovación, capital humano, comercio global e inversión, marco institucional, recursos sostenibles y demanda del medio ambiente (World Economic Forum, 2018).

3.1.2. Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave

Uno de los hitos en la adopción del paradigma 4.0 es la **Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación** (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2016) que implicó un enfoque de triple hélice (administración, sector privado y academia), y fue coordinado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Ministerio de Industria, Comercio Internacional y Servicios; este último lideró la iniciativa. Este plan supuso un análisis profundo sobre los desafíos y las



oportunidades que pueden surgir en el país por el desarrollo de la fabricación inteligente en los diferentes sectores y regiones.

El Ministerio de Industria, Comercio y Servicios, en junio de 2017, instituyó el **Grupo de Trabajo para la Industria 4.0 (GTI 4.0)**, con el objetivo de preparar una propuesta para una agenda nacional sobre el tema. GTI 4.0 tiene más de 50 instituciones representativas (gobierno, empresas, sociedad civil organizada, etc.), a través de las cuales hubo varias contribuciones y debates sobre diferentes perspectivas y acciones para la Industria 4.0 en Brasil. Esta fue una iniciativa destacable ya que puso en contacto a los agentes económicos y sociales implicados en la transformación tecnológica bajo el liderazgo de la administración.

Siguiendo las conclusiones de esta iniciativa, la Cámara Brasileña de Industria 4.0 presentó su plan de acción para el periodo de 2019 a 2022 (Camara da Industria, 2019)., el cual pretende ser un instrumento que induzca el uso de conceptos y prácticas relacionadas con la Industria 4.0, con el objetivo de aumentar la competitividad y la productividad de las empresas brasileñas. Otras metas son mejorar la inserción del país en las cadenas de valor mundiales e introducir el uso de tecnologías de fabricación avanzadas en pequeñas y medianas empresas.

El plan ayudará a acelerar el proceso de capacitación de recursos humanos y a difundir herramientas para que el sector productivo incorpore tecnologías 4.0. Esto tendrá un impacto en el aumento de la productividad de las empresas y traerá ganancias a la sociedad.

El plan enumera acciones e iniciativas, entre las cuales destaca:

- aumentar la competitividad y la productividad de las empresas brasileñas a través de la Industria 4.0;
- introducir el uso de tecnologías de la Industria 4.0 en pequeñas y medianas empresas;
- asegurar herramientas para que las soluciones basadas en tecnología, *startups* e integradores puedan ser ofrecidos y puestos a disposición directamente de las empresas;
- garantizar la estabilidad y el volumen de recursos al costo apropiado para implementar iniciativas para la Industria 4.0;
- identificar y desarrollar soluciones de la Industria 4.0 adecuadas para empresas en el parque de producción brasileño.

El documento se elaboró en coordinación por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Ministerio de Economía, en asociación con más de 30 instituciones gubernamentales, de iniciativa privada y académicas.

Además, el Gobierno de Brasil anunció en enero de 2020 la instalación del primer centro de estudios e investigaciones dirigido a la Industria 4.0, llamado C4IR Brasil, el cual entrará en funcionamiento en el primer semestre del año.

El anuncio se hizo en el marco del Foro Económico Mundial de Davos, Suiza. El C4IR Brasil nace también gracias a una asociación público-privada entre el Ministerio de Economía, el Gobierno regional de Sao Paulo y empresas de actuación global tractoras de la economía nacional.

Según el Ministerio de Economía, el nuevo centro tendrá como objetivo estimular la adopción de nuevas tecnologías y mejorar la inserción de Brasil en las cadenas globales



de valor, donde las industrias de un país producen o montan componentes para la fabricación en otros países.

De igual forma busca ampliar la competitividad y la productividad de las empresas brasileñas.

Entre las tecnologías de la Industria 4.0, el centro pretende especialmente estimular la adopción del internet de las cosas, en la que los objetos se comunican por internet, y el uso de la inteligencia artificial en la industria.

Se ha de destacar que el C4IR Brasil nace gracias a una asociación público-privada en Brasil. Esta colaboración es crítica para el desarrollo de una estrategia homogénea de Industria 4.0 y Economía Circular en los países. De tal manera que sin iniciativas de este tipo se hace prácticamente imposible el abordaje de la nueva transformación tecnológica en países de desarrollo intermedio de acuerdo con los indicadores representados más arriba.

3.1.3. Adopción de las tecnologías 4.0 por sector productivo

La industria brasileña está en proceso de incorporación de estas nuevas tecnologías de acuerdo con los datos que se derivan de la encuesta proporcionada por la Confederación Nacional de Industria (2017). El 47 % de las industrias no identifica como familiar ninguna tecnología digital presentada, en las pequeñas empresas este porcentaje se elevó al 57 % y en las grandes empresas cayó al 32 %.

Los sectores industriales con mayor incorporación de tecnología 4.0 vuelven a ser identificadas a nivel general: electrónica y computadores, componentes eléctricos, plástico, equipamiento y maquinaria, y químicos.

Aunque la industria brasileña ha aumentado los niveles de automatización y ha creado grupos de trabajo para implantar las tecnologías de la Industria 4.0, todavía tienen desafíos por delante, ya que, de acuerdo con la Confederación Nacional de la Industria brasileña (CNI), el 48 % de las empresas industriales pretende invertir en tecnologías digitales, mientras que el 32 % no planea hacerlo y el 28 % restante no lo ve como una prioridad. Este dato incide en la necesidad de comunicar, concienciar y generar contextos colaborativos de beneficio mutuo empresarial, expresada anteriormente.

Las principales barreras percibidas para la incorporación de las nuevas tecnologías son los costes de inversión y la falta de criterios claros para el cálculo de su retorno. Así también son importantes la cultura organizativa, escasez de trabajadores cualificados, débil infraestructura de telecomunicaciones en el país, dificultad para identificar socios colaboradores y falta de líneas de financiación.

Partiendo de este escenario, una de las claves en Brasil para el desarrollo tecnológico va a ser la necesidad de **institucionalizar enfoques participativos** en los que intervengan los distintos agentes interesados para la definición de políticas industriales, en particular la colaboración público-privada y el esencial liderazgo compartido y **coordinación** entre **distintos ministerios**.



3.2. Chile

3.2.1. Posición general del país en la cuarta revolución industrial

Chile se sitúa en una posición intermedia en lo que respecta a la complejidad de su estructura productiva, pero presenta un buen dinamismo en los indicadores de los drivers de transformación con una buena solidez en lo que a la estructura institucional se refiere. Y ello apunta a una buena base de trabajo para asumir la transformación tecnológica.

De acuerdo con el World Economic Forum (World Economic Forum, 2018), Chile tiene actualmente un camino por delante para la implantación de las tecnologías de la Industria 4.0, ya que sitúa a Chile en el puesto número 63 en términos de capacidad de cambio de su estructura de producción y en el puesto número 34 por lo que respecta a las palancas/drivers de empuje para la implantación de las tecnologías 4.0 (tecnología e innovación, capital humano, comercio global e inversión, marco institucional, recursos sostenibles y demanda del medio ambiente).

El porcentaje de industria hi-tech respecto del valor añadido de la manufactura representa el 13,7 %, que es el menor de los cuatro países, y que va a requerir de una especial atención y esfuerzo para su mejora futura de cara a potenciar las tecnologías de la industria 4.0 en el país (World Economic Forum, 2018).

Es de destacar el buen comportamiento de los indicadores identificados como palancas del cambio. Tanto los relativos a la variable de innovación, capital humano y, sobre todo, el buen comportamiento de los indicadores de infraestructura institucional respecto a los demás países analizados.

3.2.2. Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave

La Industria 4.0 se está instalando en Chile, en diversas áreas, no solamente en términos de fabricación, sino que también en el mantenimiento automotriz y en la minería o en la alimentación, donde existen empresas internacionales que tienen un sistema de estandarización implantado (Dinamo, 2019).

En este sentido, se pueden destacar los esfuerzos realizados por el país en ganar solidez en la infraestructura de TIC y banda ancha para fomentar el acceso a internet. En 2016, Chile anunció un programa estratégico para industrias inteligentes 2015-2025 para actualizar la infraestructura de los TIC con el fin de incrementar la velocidad de banda ancha nacional y para fomentar la penetración de internet de alta velocidad en el país (Chile, 2016).

En septiembre de 2020, Chile reunió virtualmente a las industrias clave de Latinoamérica en el evento IoT Innovatech, uno de los **eventos de IoT Industrial más prestigioso en Latinoamérica**. Se trata de una plataforma que promueve el intercambio de conocimientos que permitirán a los gobiernos y empresas alcanzar nuevos niveles de innovación, productividad y eficiencia a través de la adopción del IoT, Inteligencia Artificial y Blockchain (Innovatech, 2020).

Así mismo, acuerdos como el firmado por CORFO, SOFOFA, el Comité de Transformación Digital, las Subsecretarías de Hacienda, de Economía, de Educación, y la Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información (ACTI), han permitido grandes avances en la Industria 4.0 (CORFO, 2017).



Por otro lado, y debido a su importancia en la economía del país, es especialmente interesante resaltar que el Consejo Minero, la entidad de transferencia de tecnología Fundación Chile y el ente promotor Corporación Alta Ley presentaron la hoja de ruta de innovación 4.0 para la industria minera. La hoja de ruta de innovación incluye en su haber tecnologías disruptivas como el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial y el uso de la tecnología Blockchain. Alrededor de 16 compañías mineras que hacen vida en la nación latinoamericana participaron en la construcción de la hoja de ruta, junto instituciones gubernamentales, empresas proveedoras, asociaciones gremiales y universidades del país. El diseño de la hoja de ruta comprende 3 núcleos traccionantes que comprenden los desafíos tecnológicos más cruciales para la evolución de la industria llamados Minería Integrada e Inteligente, Minería Verde y Minería Segura. Hay que tener en cuenta que Chile mantiene el 10% de su producto interno bruto gracias a la minería de cobre y otros metales no renovables. Para el 2018 y 2019, este sector económico aportó al menos un 55% de las exportaciones de ese país y generó miles de empleos directos e indirectos (Jiménez, 2020).

Así mismo, el Acuerdo de Cooperación para el Desarrollo de Capital Humano para la Industria 4.0 firmado en 2017 buscaba promover la especialización hacia los servicios para abordar los cambios que requiere la Industria 4.0, aumentando la productividad y competitividad de las empresas, a partir de la adopción y dominio de tecnologías digitales y la formación de capital humano (CORFO, 2017).

En la práctica, y especialmente en Chile, la aplicación de las tecnologías 4.0 representa un reto para los sectores como la minería, sector agro, salmoneras y frutas. En estos sectores, la exigencia del conocimiento del proceso en detalle por el cliente hace que la aplicación de la tecnología Blockchain haga que los compradores tengan una mayor certeza. Este es un elemento de garantía de competitividad en los mercados internacionales con alto grado de exigencia, como el japonés con presencia significativa en la economía chilena.

Por otro lado, aunque parezca que el desarrollo de la Industria 4.0 es una tendencia clara en Chile, se habrá de gestionar la resistencia al cambio inherente a todo nuevo paradigma ya que va a provocar un cambio en el mercado de trabajo evidente debido al proceso de automatización implicado.

Este dato también apunta en la dirección de desarrollar grandes esfuerzos en industrialización y en la formación de las habilidades avanzadas relacionadas con las tecnologías 4.0, lo que nos lleva a plantear soluciones basadas en **institucionalizar enfoques participativos** en los que intervengan los distintos agentes interesados para la definición de políticas industriales, en particular la colaboración público-privada y el esencial liderazgo compartido y **coordinación entre distintos ministerios**.

3.2.3. Adopción de las tecnologías 4.0 por sector productivo

De acuerdo con Petar Ostojic, Director del Centro de Innovación y Economía Circular, **en Chile se están desarrollando iniciativas de Industria 4.0 y Economía Circular en prácticamente todas las industrias (Guerra, 2019)**. Dentro de los más destacados se encuentran los casos que consideran la recuperación, reutilización y reciclaje de productos fabricados con materiales especiales utilizados para el transporte de minerales y agua en la minería; remanufactura y reparación de equipos industriales que permiten aumentar el ciclo de vida, confiabilidad y eficiencia energética de estos productos sin necesidad de importar y comprar nuevos; desarrollo de software a la medida de trazabilidad, control y monitoreo de procesos y fabricación de productos



que incorporan internet de las cosas, Blockchain e inteligencia artificial; diseño de nuevos materiales no tóxicos, biodegradables y amigables con el medio ambiente; desarrollo a través de ciencia de materiales y biotecnología de materiales con mejores propiedades mecánicas y químicas, 100% reciclables e incluso capaces de auto repararse; creación de productos basados en materias primas de desechos orgánicos y producción de nuevos alimentos en base al procesamiento de insectos alimentados por desechos orgánicos, por nombrar algunos. Con el objetivo de evaluar la aceptabilidad del consumo de insectos en la dieta chilena como una medida de sustentabilidad alimentaria, así como para diversificar la propuesta alimentaria cárnica en Chile, las carreras de Nutrición y Dietética y Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile desarrollaron un estudio interdisciplinario. El estudio busca evaluar las oportunidades de la entomofagia, término que alude a la ingesta de insectos, arácnidos o artrópodos en general, de forma consciente y voluntaria en la población chilena. La incorporación de insectos a la dieta chilena abre oportunidades de nuevas fuentes altamente nutritivas, de bajo costo y muy sustentables. La larva seleccionada para el estudio tiene un 49% de su peso de valor proteico y un 40% de grasas monoinsaturadas (Guerra, 2019).

Como estos, existen cientos de casos más dentro de los cuales destacamos las iniciativas levantadas y apoyadas por los programas de Economía Circular de CORFO que han permitido la dinamización del ecosistema de emprendimiento circular en Chile.

El principal desafío para que Chile implante la cuarta revolución industrial es desarrollar un gran esfuerzo para la creación de empresas hi-tech dentro de la industria manufacturera, y en última instancia crear una industria manufacturera sólida.

Ahora bien, en el perfil de sus sectores industriales tiene gran presencia tradicionalmente la industria minera, que con un 14,2 % de su PIB y un 57 % de las exportaciones requiere de especial atención. En este sector, la combinación de la tecnología Big Data y Blockchain es imprescindible para impulsar su competitividad internacional. Así, también, en los sectores de pesca presentes con fuerza en los mercados internacionales, las tecnologías basadas en Big Data y Blockchain van a suponer una ventaja competitiva clara.

En este sentido, las iniciativas relacionadas con el incremento de la solidez de las infraestructuras de telecomunicaciones y banda ancha del país, la formación de trabajadores con las habilidades necesarias y la financiación de las iniciativas para su implantación van a ser las claves dentro de un contexto de colaboración público-privada necesario.



3.3. México

3.3.1. Posición general del país en la cuarta revolución industrial

Las empresas mexicanas han experimentado grandes cambios durante las últimas dos décadas, principalmente en la estructura organizativa y en la articulación de las cadenas de valor, modificando también las relaciones entre los diferentes agentes económicos y sociales (empresas, sectores, regiones, gobierno, sociedad civil, investigadores y programas de posgrado). Actualmente, se plantean nuevos interrogantes debido a las transformaciones de los procesos de fabricación inteligente, especialmente en ciertas formas de organización industrial y regulación (Casalet, 2018).

De acuerdo con los datos aportados por el World Economic Forum (World Economic Forum, 2018), México posee el mayor potencial de implantación de Industria 4.0 en el conjunto de los países analizados. Los datos relativos a la idoneidad de su estructura productiva para la recepción de las nuevas tecnologías asociadas a la industria 4.0 son sólidos, situándose en los primeros 25 lugares a nivel internacional entre un ranking de cien países. El valor añadido de la manufactura en dólares para el 2018 fue de 204.982,5 US\$ millones (equivalente al 19,6% del PIB) y el peso relativo en valor añadido de empresas hi-tech respecto el valor total del sector manufactura supone un porcentaje del 40 % (World Economic Forum, 2018). Es una situación sólida para la tracción de las tecnologías 4.0. De hecho, en este indicador está al nivel de los países líderes en Industria 4.0 a nivel internacional. Estos datos son importantes a considerar, ya que su potencial ha de ser un elemento de confianza para afrontar el reto de la transformación tecnológica (World Economic Forum, 2018).

De hecho, el World Economic Forum constata esta situación, ya que luego de un estudio de 100 países sitúa a México en el puesto número 22 en términos de estructura de producción y en el puesto número 46 en drivers de producción (tecnología e innovación, capital humano, comercio global e inversión, marco institucional, recursos sostenibles y demanda del medio ambiente) (World Economic Forum, 2018).

De acuerdo con el informe sobre el desarrollo industrial 2020 (ONUDI, 2019), México se encuentra entre el grupo de economías de “segundo nivel en términos de uso” especializadas en la importación con tecnología de PDA; es decir, en el conjunto de economías que compran grandes volúmenes de tecnologías de PDA en los mercados internacionales.

México, al igual que Brasil, debe mejorar su posición en lo relativo a la infraestructura institucional, para que se genere el contexto de confianza y colaboración público-privada necesaria para la adopción de tecnologías 4.0.

3.3.2. Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave

El Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI) 2014-2018 planteó la importancia de la manufactura avanzada en la producción, y de hecho entre sus objetivos y directrices de trabajo se encontraban: incentivar la creación de empresa de base tecnológica, fomentar programas de formación en ciencia y tecnología con la participación del sector privado y desarrollar la capacidad en biotecnología de acuerdo con las necesidades del país (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2014). Actualmente, los Programas Nacionales Estratégicos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 2018-2024, incluyen el Proyecto de Desarrollo Industrial y Toxicidad, así como el de Transición Energética (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2019).



El Programa Sectorial de Economía 2020-2024 estableció como objetivo prioritario el fomento a la innovación, mediante el desarrollo tecnológico en los sectores industriales, con acciones tales como el fortalecimiento de centros de innovación industrial de los ecosistemas de innovación, favoreciendo un uso eficiente en materias primas, la minimización de impactos ambientales asociados a los procesos de producción; el fomento a las industrias estratégicas con miras a transitar hacia las industrias 4.0.; la implementación de esquemas de encadenamiento productivo sustentable para la proveeduría de insumos a los sectores estratégicos, así como su vinculación en cadenas globales de valor (Gobierno de México. Secretaría de Economía, 2019).

Además, dentro de la Secretaría de Economía existe el **Consejo Consultivo de Industria 4.0**, un órgano de análisis de la política pública en este rubro en el que participan el sector industrial, académico y el gobierno.

La función de este organismo es la definición de objetivos responsables y la toma de decisiones para acciones y estrategias que apoyen al despliegue de la Industria 4.0 en México.

De esta manera, se pretende que en México pueda seguirse un patrón como en el resto del mundo para iniciar con la integración de tecnologías y procesamiento de datos, software y sensores en la industria.

También destaca el memorando de entendimiento de dos años suscrito en 2018 con el País Vasco para respaldar la colaboración entre sus respectivas estrategias de tecnología de PDA. Por su parte, el Gobierno de Nuevo León lanzó recientemente el programa MIND4.0 Monterrey 2019. Este programa consiste en un acelerador de empresas emergentes (ONUDI, 2019).

3.3.3. Adopción de las tecnologías 4.0 por sector productivo

México fue el primero de los países latinoamericanos en esbozar una estrategia para la adopción tecnológica con enfoque 4.0; en 2016 delineó un Mapa de Ruta Industria 4.0 para encaminar el proceso de digitalización de su industria (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018). Este mapa surge de un proceso colaborativo entre el gobierno, la industria y la academia, que define un punto de partida, una visión de futuro y una estrategia para la transformación digital de la industria. Esta iniciativa fue dirigida por la Secretaría de Economía de la Nación en colaboración con la Asociación Mexicana de la Industria de Tecnologías de Información (AMITI).

Así, la administración mexicana ha determinado tres sectores y sus respectivas acciones para desarrollar la Industria 4.0:

- **Sectores Maduros – Impulsar la productividad en los sectores:** metal mecánico, textil-vestido y cuero-calzado, madera y muebles, siderúrgico, alimentos y bebidas.
- **Sectores Dinámicos – Incrementar la competitividad en los sectores:** automotriz y autopartes, aeroespacial, electrónico, químico.
- **Sectores Emergentes – Atraer y fomentar las industrias en los sectores:** biotecnología, farmacéutico, tecnologías de la información, industrias creativas, equipos médicos.



Las iniciativas en particular dentro de cada uno de estos sectores se describen en el Mapa de Ruta de la Industria 4.0 (Secretaría de Economía, 2016). En este sentido es importante destacar que este Mapa de Ruta de la Industria 4.0 se desarrolla dentro del Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018 (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2014).

En México existen sectores que lideran la aplicación de tecnologías 4.0. Este es el caso del sector la industria automotriz, sobre todo en la aplicación en el diseño aditivo y software de fabricación, la Big Data, robotización, sensores e internet de las cosas. No obstante, las tecnologías 4.0 también están presentes en los sectores de empaquetado, metal, alimentos, bebidas y farmacéutica. Pero otros, como el agroalimentario, tienen aún un recorrido que desarrollar (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2012).

Así pues, México necesita establecer estrategias efectivas para su integración en las cadenas de valor global y modelos de colaboración multisectorial. Además, siendo un destino de inversiones industriales importante, al igual que Brasil, ha de definir modelos de colaboración que faciliten la transmisión de conocimiento en la Industria 4.0.

Se ha de insistir que, para mejorar los indicadores de transformación tecnológica presentados, se requiere plantear soluciones basadas en **institucionalizar enfoques participativos** en los que intervengan los distintos agentes interesados para la definición de políticas industriales, en particular la colaboración público-privada y el esencial liderazgo compartido **y coordinación entre distintos ministerios.**

De acuerdo con las iniciativas presentadas, se puede afirmar que México es consciente de que la Industria 4.0 es la vía para que sus empresas sigan creciendo, generando una mayor productividad y competitividad. En este sentido, México reconoce que para poder avanzar hacia la **cuarta revolución industrial** es necesario trabajar en cinco pilares fundamentales: desarrollo de capital humano, innovación, clústeres, adopción de tecnología y la **calidad de la estructura institucional** (México, 2020).



3.4. Uruguay

3.4.1. Posición general del país en la cuarta revolución industrial

Uruguay posee una posición intermedia en los drivers de transformación de la estructura productiva relativos a la innovación y en la solidez de estructura institucional que hacen posible un buen recorrido en la implantación de la Industria 4.0. Se puede apreciar que Uruguay se ubica en una posición destacada en América Latina en cuanto a su nivel de digitalización.

En general, el World Economic Forum sitúa a Uruguay en el puesto número 59 en términos de estructura de producción y en el puesto número 60 en drivers de producción (tecnología e innovación, capital humano, comercio global e inversión, marco institucional, recursos sostenibles y demanda del medio ambiente) en el ranking de 100 países (World Economic Forum, 2018).

3.4.2. Adopción del paradigma 4.0 por los agentes clave

Desde el año 2016, se llevan realizando una serie de eventos para acercar las tecnologías de la Industria 4.0 a las empresas del Uruguay. Se inició con la firma del acuerdo de cooperación internacional con la Cámara de Comercio e Industria Uruguayo-Alemana (AHK) (Uruguay, 2016). En febrero de 2019, la Cámara Industrial de Uruguay llevó a cabo talleres en los que se recibieron expertos internacionales para apoyar a las empresas en la incorporación de las tecnologías de la Industria 4.0. Eventos como el seminario taller "Industria 4.0 y el conocimiento de la academia aplicado al sector industrial", buscan acercar los centros de conocimiento a la industria y fomentar proyectos que aporten al desarrollo productivo nacional. Esta actividad fue organizada por la Fundación Julio Ricaldoni (FJR), Impulsa Industria y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Cyted), en julio de 2019 en la Cámara de Industrias de Uruguay (CIU) (Fundación Julio Ricaldoni, 2019).

Además, el Ministerio de Industria tiene un acuerdo de cooperación con la Cámara de Comercio e Industria Uruguayo-Alemana para establecer el marco general para los intercambios entre ambas instituciones de actividades de Industria 4.0, de automatización y de transferencia tecnológica (Sociedad Uruguaya, 28).

Así mismo, el gobierno de Uruguay, junto con ONUDI y la empresa de automatización industrial alemana Festo han establecido el Centro de Automatización Industrial y Mecatrónica (CAIME), un centro público de tecnología para actualizar conocimientos e impulsar en las empresas procesos de fabricación inteligente (Uruguay G. d., 2020).

3.4.3. Adopción de las tecnologías 4.0 por sectores productivo

Uruguay es un país agroexportador, donde el sector agropecuario contribuye un 10 % al PIB nacional, siendo éste el sector con mayor peso en su economía. El 70 % del total de la exportación de Uruguay procede del sector primario. El otro elemento central de la economía uruguaya es el sector servicios, que crea el 68,8 % del PIB del país. El sector industrial muestra un insuficiente progreso y está orientado principalmente a la producción de bienes de consumo no duraderos. Así, las industrias manufactureras suponen el 13,9 % del PIB, el comercio el 14,5 %, la construcción el 7,3 %, el transporte el 7,5 %, y otras actividades el restante 48,2 % (Uruguay B. N., 2020).



En los últimos años, la industria del software en Uruguay ha mostrado un importante dinamismo, reflejando un crecimiento constante de sus exportaciones. Hoy en día, la industria del software uruguayo representa el 5,7 % de las exportaciones totales del país. La industria del software uruguayo tiene una clara orientación al desarrollo de productos comerciales y gran experiencia en el desarrollo y marketing. En 2018 La facturación total del sector aumentó el 6% (US\$ 1.687 millones) y sus exportaciones crecieron un 13%, según datos de la encuesta anual que elabora la Cámara Uruguaya de Tecnologías de la Información (CUTI). Según indicó el presidente de CUTI, el sector tecnológico tiene “mucho más potencial” para crecer, pasando desde el actual 2,7% del PIB a un 5% en un plazo de 5 años (CUTI, 2019).

En Uruguay, el sector servicios es el más significativo en su economía. Constituye cerca de dos tercios de su PIB y crea unas exportaciones por año de más de 3.000 millones de dólares. También establece la primera fuente de empleo, siendo el sector comercio y hoteles los que generan empleo a más de 370 mil personas (Uruguay B. N., 2020).

La clave para el desarrollo de la Industria 4.0 en el país es industrializar la economía potenciando el sector industrial manufacturero. Ahora bien, dado su perfil agroexportador actual, también es importante desarrollar la biotecnología y la combinación de Big data y Blockchain, computación en la nube, automatización del proceso productivo, así como el desarrollo de la solidez de las infraestructuras de telecomunicación del país.

En el sector lácteo, con fuerte implantación en el país tanto a nivel de producción como de importancia de sus exportaciones a nivel internacional, los retos son los siguientes:

- Tecnologías de automatización parcial de procesos asociadas a controles de calidad y seguridad de los productos, con sensores y plataformas en la nube.
- Automatización total de procesos productivos, combinando software, hardware y equipamiento industrial en empresas con sistemas integrados de automatización. Estos sistemas posibilitan el control integrado de todo el proceso desde el preprocesamiento de la leche, el procesamiento y el control de lotes finales, compartiendo y centralizando la información para garantizar la seguridad y calidad de materia prima y productos.
- Robotización de procesos parciales o aislados (robots de selección y colocación), como se observa en algunas empresas elaboradoras de quesos, y en las etapas de empaquetamiento y paletizado. Todavía no se ha alcanzado la robotización de todo el proceso productivo.
- Tecnologías basadas en el dominio digital, tanto para las tareas de gestión comercial de las firmas como para asegurar la trazabilidad de los productos en las diversas etapas productivas de la empresa, incluyendo almacenamiento y logísticas. Dentro de ellas comienza a difundirse la tecnología Blockchain, para asegurar la trazabilidad, el control, y la comunicación a lo largo de todas las etapas de las cadenas de valor del complejo lácteo. Estas tecnologías garantizan la calidad y seguridad de los alimentos, aseguran el control del origen de cada insumo y facilitan estrategias de justo a tiempo y la “customización” de la producción, impulsando la coevolución entre las innovaciones tecnológicas y las organizacionales.

Por su parte, el sector cárnico, que supone el 70% de las exportaciones del país y un 10% del PIB nacional (Ministerio de Agricultura, 2020), ha comenzado la incorporación



progresiva de la tecnología digital en su proceso productivo y modelos de negocio. Las actuaciones incluyen la incorporación de sensores, cámaras, drones, imágenes térmicas que permitan el control individual de los animales. El objetivo es mejorar la eficiencia y la calidad de los productos. Las herramientas de big-data, internet industrial, inteligencia artificial y Blockchain para la integración de toda la cadena de valor de forma precisa y transparente son las herramientas de aplicación del futuro.

Ello implica que se han de desarrollar esfuerzos en industrialización y en la formación de las habilidades avanzadas relacionadas con las tecnologías 4.0, lo que nos lleva a plantear soluciones basadas en institucionalizar enfoques participativos en los que intervengan los distintos agentes interesados para la definición de políticas industriales, en particular la colaboración público-privada y el esencial liderazgo compartido y coordinación entre distintos ministerios.

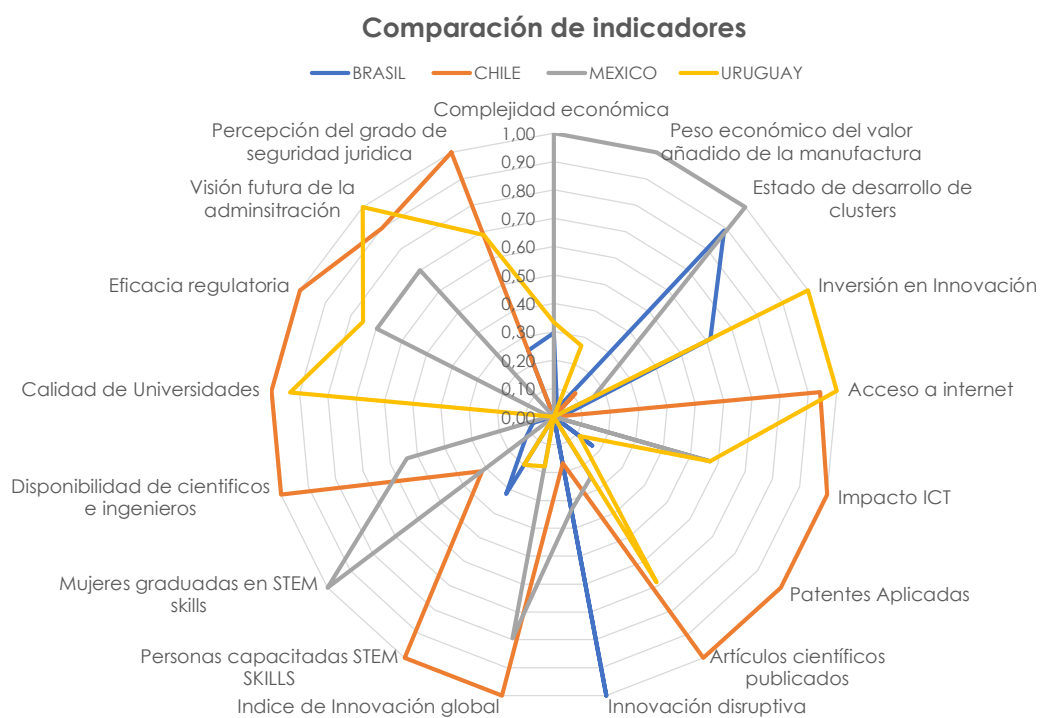
3.5. Análisis comparado

A continuación, se presenta una representación gráfica general para los cuatro países en función de los indicadores seleccionados.

Los datos utilizados para la elaboración del gráfico se hallan disponibles en el [Anexo 2](#).

Figura 6. Indicadores relativos a la evaluación de la Industria 4.0 en los países

Fuente: elaboración propia



De la representación anterior y del análisis de la información existente en entregables anteriores de este proyecto, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Una característica notable de la creación y la difusión de tecnologías de PDA es la concentración extrema, especialmente de la actividad relacionada con la creación y exportación de patentes. Según la ONUDI, tan solo 10 economías



punteras representan el 91% de las patentes y el 70% de sus exportaciones (ONUUDI, 2019). Por otra parte, **la participación en las tecnologías PDA de los cuatro países depende de la proporción de industrias intensivas en tecnología y digitalización (TDI), y del porcentaje de inversión en investigación y desarrollo respecto al PIB.**

- **Las principales barreras para la incorporación de las tecnologías 4.0 en la manufactura de los cuatro países son las siguientes:** (1) los altos costes de inversión para estas nuevas tecnologías; (2) falta de claridad para los retornos de inversión; (3) la cultura organizativa; (4) las dificultades para la integración de los nuevos softwares en los sistemas propios de control existentes; (5) una infraestructura básica de IT deficiente; y la (6) escasez de soporte financiero institucional.
- México y Brasil constituyen un contexto diferente a Chile y Uruguay, debido a su mayor complejidad económica, y a su mayor peso relativo de la manufactura en el PIB. **El riesgo al que se enfrentan México y Brasil consiste en ser comprimidos entre dos grupos de países: el representado por los líderes en tecnología con una capacidad cada vez mayor de ofrecer manufactura avanzada y el representado por países más pequeños y con una ventaja competitiva en costes.**
- Dada su extensión y diversidad, las ratios en productividad del sector manufacturero en Brasil y México son muy heterogéneas en función de la región, sector y tamaño de las empresas. Este hecho puede dificultar la elaboración de hojas de ruta generales y homogéneas, de cara a gestionar las barreras citadas anteriormente. En este sentido, y de forma general, sería recomendable que **Brasil y México comenzaran por reforzar la calidad de su estructura institucional, mejoraran las capacidades tecnológicas de su capital humano e invirtieran en plataformas tecnológicas y estructura para la innovación.** El desarrollo de estas iniciativas solo puede ser entendido bajo la cobertura de la colaboración público-privada y el papel de liderazgo que la administración ha de jugar de cara a su escalado, coordinación y soporte.
- **Del análisis de los informes especializados referidos al desarrollo de la industria 4.0 en México se puede afirmar que las directrices de trabajo principales han de estar relacionadas con los siguientes puntos:** (1) desarrollo del capital humano con habilidades relacionadas con las tecnologías 4.0 explicadas anteriormente; (2) consolidar la cultura de la innovación en el entramado industrial haciendo que la misma sea parte crítica en el desarrollo de las estrategias empresariales; (3) impulsar los clústeres con el objetivo de potenciar la simbiosis industrial. Uno de los pilares fundamentales de la economía circular es “competir cooperando”. El cambio constante, el costo y la complejidad para la incorporación de las tecnologías en los procesos industriales específicos hacen que esta premisa sea clave para mantener e incrementar la capacidad competitiva y la adaptación tecnológica necesaria para las pequeñas y medianas empresas, y las empresas pequeñas. Esta ha de ser rápida y soportada con procesos de colaboración público-privada.
- **México también debería aumentar la inversión en investigación y desarrollo, para de esta manera desarrollar patentes propias y aumentar su posición competitiva.** Se ha de resaltar que México es de las doce economías mundiales con mayor implantación del sector manufacturero en su economía, suponiendo



esta un 16,6% de su PIB. Sin embargo, los indicadores representativos de su complejidad económica y relativos a su “capacidad de cambio” la sitúan en el lugar 24 de entre los 100 países analizados. Este hecho está relacionado tanto con la gran diferencia de productividad existente entre sectores, tamaños de empresa y regiones del país, como con el limitado peso de la inversión en investigación y desarrollo respecto de su PIB (éste se sitúa en un 0,6%, ocupando el puesto número 58 de entre los cien países analizados). Este dato explica, en parte, la posición media presentada por México en lo relativo a la aplicación de patentes propias, situándose en este indicador en la posición 52 (World Economic Forum, 2018).

- **Las prioridades básicas para el desarrollo de la industria 4.0 en Brasil, como gran economía americana, serían:** (1) la necesidad de que el gobierno haga un esfuerzo importante en el desarrollo de la infraestructura digital básica para el desarrollo de las tecnologías 4.0; (2) una inversión urgente en nuevos modelos y programas de formación para el desarrollo de unos profesionales capaces de gestionar las nuevas tecnologías; (3) el desarrollo de líneas de financiación específicas y (4) una hoja de ruta hacia la implantación de la Industria 4.0, paso a paso, de manera modular y escalable, ofreciendo un atractivo retorno de la inversión. Además de la formación profesional anterior, es necesario que los líderes de la industria sean capaces de ver la importancia de este tipo de inversión lo que implica un esfuerzo de la administración para dar soporte financiero, metodológico y de coordinación.
- Chile y Uruguay poseen una solidez de su estructura productiva inferior, pero se puede observar que poseen buenos ratios, especialmente Chile, en cuanto a la situación de su capacidad de innovación, factor humano y calidad de la estructura institucional. Ello indica un gran **potencial para incorporar las nuevas tecnologías en Chile y Uruguay**. En los dos casos pasa por el desarrollo a medio plazo de la industrialización basada en la manufactura y en la extensión urgente de la aplicación de la nueva tecnología en los sectores de la minería, agropecuario, y servicios. En ambos casos, también es importante realizar esfuerzos en el desarrollo de plataformas tecnológicas y la formación de su capital humano.
- Para afrontar el cambio de paradigma implícito en la revolución de la industria 4.0 no existen hojas de ruta uniformes, sino que cada país debe encontrar su hueco competitivo y diseñar su estrategia progresiva y participativa. Así, se ha de tener en cuenta que **los cuatro países disponen de otros sectores económicos diferentes a la manufactura**, donde las tecnologías PDA tiene también un importante potencial disruptivo (agrícola y forestal, minería, etc.).



4. Conclusiones

Las conclusiones se van a enfocar desde la perspectiva de la necesidad de aunar la Economía Circular y la Industria 4.0 en Brasil, Chile, México y Uruguay y se van a estructurar en dos apartados. El primero de ellos hace referencia al **desarrollo general de los modelos de negocio circular e Industria 4.0** y el segundo apartado hace referencia a la comparativa y situación especial de los países analizados.

4.1. Conclusiones generales

- Las capacidades industriales y por tanto la industrialización es la clave para incorporar el nuevo paradigma tecnológico. Estas capacidades sobre todo se desarrollan en las empresas manufactureras que juegan un papel de atracción e impulso de las mismas. **La palanca más importante para relanzar la Industria 4.0 en las economías es desarrollar el sector manufacturero.** Los sectores de electrónica e informática, material eléctrico, vehículos, equipos de transporte, productos químicos y metales son los que en la actualidad incorporan más tecnologías 4.0 a nivel internacional.
- Ahora bien, **la Industria 4.0 tiene también aplicación con futuro en los sectores primarios y de servicios** porque como herramienta de la Economía Circular es decisiva para el diseño e implantación de propuestas de valor competitivas, sobre todo en los sectores con decidida vocación de comercio internacional, como el minero, agropecuario y la pesca. Tecnologías relacionadas con la combinación de Big data y Blockchain, y la biotecnología son claves en estos sectores.
- A nivel internacional, respecto de la implantación de las tecnologías de la Industria 4.0, se está en una **fase inicial**. Existe un pequeño grupo de no más de diez países líderes e incluso éstos no poseen un desarrollo extendido global.
- La aplicación de la tecnología y los modelos de producción implicada en la Industria 4.0 se soporta en la capacidad de innovación de las regiones y organizaciones. **La innovación es un riesgo que se deberá asumir y gestionar como tal.** Esta innovación inherente a la Industria 4.0 y la Economía Circular necesita de contexto cultural, procesos de colaboración integral de toda la cadena de valor y de la colaboración público-privada.
- **El proceso de industria 4.0 es de naturaleza global** y no específico de cada país, las soluciones a los retos del nuevo paradigma tecnológico son globales. Ello incidirá, sin duda, en la reorganización internacional de las cadenas de suministro. Por ello, es importante que los países tomen posición en los nuevos cambios estableciendo acuerdos de colaboración tecnológica y de conocimiento con los países punteros.
- El paso al nuevo paradigma constituye en último término un cambio cultural. Requiere de nuevas maneras de organización basadas en nuevos modelos de consumo y producción. Ello va a hacer que la concienciación general y la transparencia en la **estrategia de comunicación** sean dos herramientas importantes que incorporar a las hojas de ruta.



- **La calidad de la gobernanza y la estructura institucional son** un aspecto básico y decisivo para afrontar los retos de la Industria 4.0. Es importante atraer las inversiones extranjeras y los acuerdos de colaboración con países avanzados en estas tecnologías.
- El tamaño y el sector de la empresa, como ya se ha especificado, incide directamente en la incorporación de la nueva tecnología, y por lo tanto existe un riesgo de que estas empresas puedan generar entornos aislados con pocas empresas avanzadas que operan como islas en un conjunto de empresas con tecnologías obsoletas. Por ello, otro de los principios de actuación de las políticas regionales deberá premiar la tracción y capilaridad del sistema industrial basada en la **actuación coordinada de estas empresas líderes con la administración y la cooperación internacional e intersectorial.**

4.2. Conclusiones específicas para los países analizados

Se ha de insistir que para mejorar los indicadores de transformación tecnológica presentados, se requiere para los cuatro países plantear soluciones basadas en **institucionalizar enfoques participativos** en los que intervengan los distintos agentes interesados para la definición de políticas industriales, en particular la colaboración público-privada y el esencial liderazgo compartido y **coordinación entre distintos ministerios**, en este sentido cabe hacer hincapié en las siguientes iniciativas necesarias a desarrollar:

- **Desarrollar políticas públicas coordinadas interdepartamentalmente** donde se declare el compromiso de la administración en el desarrollo de un cambio de paradigma basado en la Economía Circular y la Industria 4.0, conjuntamente.
- **Desarrollar estrategias sectoriales de Economía Circular e Industria 4.0 canalizadas a través de las organizaciones de colaboración público-privada** cuyo papel pueda consistir en conjugar los intereses regionales y los de los sectores específicos emplazados en las mismas para dar impulso a la innovación. Estas estrategias están dirigidas a impulsar el desarrollo de iniciativas de innovación soportadas en las directrices de la Economía Circular y las tecnologías de la Industria 4.0. y deberán ser coordinadas en último término por los siguientes departamentos de la administración: fiscales o económicos, medioambiente, competitividad industrial e innovación. Esta coordinación final ha de garantizar la coherencia de las diferentes políticas, el cumplimiento de los compromisos internacionales y el alineamiento de estas iniciativas con las estrategias de competitividad nacional.
- **La creación de fondos públicos de ayuda a la inversión en innovación para este tipo de iniciativas.** Todos los proyectos de innovación, entendidos desde la perspectiva de la Economía Circular, deberán responder a la mejora de la eficiencia e impacto ambiental de la cadena de valor en su conjunto y deberán ser fuente de beneficio social explícito. En este sentido, es la perspectiva circular la que marca en primera instancia las mejoras posibles y utiliza la Industria 4.0 para su implantación más eficiente y eficaz.
- **Desarrollo de modelos de gestión integrados y homogéneos capaces de evaluar la implantación de las tecnologías de la Industria 4.0 de acuerdo con**



los principios de la Economía Circular en las organizaciones. Se entiende que la Economía Circular ha de expresarse en una estrategia tanto a nivel nacional como por sectores e incluso empresas. Esta estará compuesta por objetivos globales y concretos, iniciativas soporte y una métrica que evalúe su correcta implantación, y la trazabilidad de las iniciativas con los objetivos definidos. Este modelo de gestión ha de ser homogéneo para todo el país puesto que la estrategia también ha de ser nacional y estará compuesta por iniciativas de diferentes sectores que se han de evaluar con criterios homogéneos. Otro de los grandes beneficios de poseer un modelo homogéneo de gestión es la posibilidad de utilizarlo para la necesaria priorización de las diferentes iniciativas, incluso para su soporte financiero.

- **Creación de espacios de inteligencia compartida entre los ámbitos de sector público, empresas y universidades y centros de investigación** que lideren los procesos de investigación y creación de directrices de desarrollo circular y tecnológico. La estrategia circular soportada en la Industria 4.0 tiene como input principal la identificación de líneas de colaboración intersectorial basadas en las nuevas tecnologías que requieren de la creación de instituciones, organizaciones, o comités que principalmente han de tener un carácter de investigación y consultivo.
- **Coordinación de la legislación intra gubernamental y territorial en términos de políticas, regulación e incentivos**, y coherencia en la protección regulatoria y fiscal de entornos de gestión empresariales sostenibles. El objetivo es eliminar barreras para el desarrollo de estrategias de Economía Circular competitivas.



5. Anexo 1. Indicadores

Indicadores que reflejan la capacidad de cambio de las estructuras productivas en los países.



▪ **Complejidad Económica:**

Este indicador es una medida de la solidez de la estructura de producción actual del país. Expresado en términos del conocimiento y la capacidad existente en una sociedad para generar productos competitivos respecto del resto de países. Indica la excelencia en la organización de las capacidades internas de cada país que son la base sobre lo que se pueden implementar los potenciales facilitadores para el desarrollo estratégico de la Industria 4.0.

Datos obtenidos en base a la diversidad de sus exportaciones de productos sofisticados y al peso y ámbito de su presencia internacional.

Información adicional existente en: <http://atlas.cid.harvard.edu>.

Score: sobre 10 puntos.

Fuente: Universidad de Harvard, The Atlas of Economic Complexity (2016). Indicador 1.01 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Porcentaje del valor añadido de la manufactura sobre el producto interno bruto:**

Este indicador relaciona el valor total neto de toda la actividad manufacturera regional interna eliminadas las entradas intermedias. Se refiere a empresas de la sección 15-37 del índice "International Standard Industrial Classification (ISIC)". Esto, debido a que la manufactura es un elemento tractor importante de la Industria 4.0.

Unidad: % PIB.

Fuente: ONUDI (2016). Indicador 1.02 del WEF (World Economic Forum, 2018).

Indicadores para evaluar el dinamismo de la transformación tecnológica en cada país



▪ **Estado de desarrollo de clústeres:**

Este indicador valora la existencia de clústeres en diferentes ámbitos. Como agentes de organización empresarial dedicadas a la protección sectorial y la definición de proyectos de innovación colaborativos empresariales entre los socios. Este indicador es importante como señal del índice de actividad



de agrupación de las empresas para el intercambio de experiencias y retos conjuntos del sector.

Datos obtenidos en base a la respuesta media de la pregunta de la encuesta a ejecutivos realizada por WEF sobre el papel de los clústeres en la economía: "En su país, ¿cuán extendidos están los clústeres (concentraciones geográficas de empresas, proveedores, productores de productos y servicios conexos e instituciones especializadas en un campo determinado)?"

Unidad: (1-7) la mejor.

Fuente: World Economic Forum, Executive Opinion Survey, 2016–17. Indicador 2.08 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Gasto en proyectos de investigación y desarrollo:**

Gasto en investigación y desarrollo (I+D) expresado como el porcentaje del PIB. Los gastos en investigación y desarrollo son gastos corrientes y de capital (tanto públicos como privados) en la labor creativa emprendida sistemáticamente para aumentar los conocimientos, incluidos los conocimientos de la humanidad, la cultura y la sociedad y el uso del conocimiento para nuevas aplicaciones. La investigación y el desarrollo abarcan la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental, siendo este dato un aspecto fundamental a conocer para comprender la medida de la cultura basada en la innovación indispensable para formular una estrategia 4.0.

Unidad: % PIB.

Fuente: Banco Mundial, 2015. Indicador 2.13 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Porcentaje de acceso a internet:**

Porcentaje de población que utilizaron Internet desde cualquier lugar y para cualquier propósito, independientemente del dispositivo y la red utilizados.

La implantación de estructura TIC es clave para la conectividad.

Estos datos son obtenidos de lo reportado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2019.

Unidad: % habitantes.

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones (2016). Indicador 2.03 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Impacto de las ICT sobre los nuevos productos y servicios:**

Respuesta a la pregunta de la encuesta para ejecutivos realizada por World Economic Forum en 2017 relativa a el grado de impacto de las ICT en el diseño de nuevos productos y servicios / modelos de negocio.

Representa la confianza y el potencial de la tecnología para los ejecutivos en el diseño de la propuesta de valor de sus negocios.



Unidad: de 1= no afecta a 7= fuertemente.

Fuente: World Economic Forum, Executive Opinion Survey, 2016–17. Indicador 2.06 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Patentes existentes:**

Número de solicitudes de patentes presentadas en al menos dos de los cinco índices más prestigiosos de patentes a nivel internacional.

Representa el dinamismo en investigación de la región que es la base del desarrollo de capacidades de la Industria 4.0.

Unidad: número medio sobre los años 2012 y 2014 por millón de habitantes respecto al mismo periodo.

Fuente: Calculado por el World Economic Forum a partir de datos basados en los registros de patentes de la OCDE y los registros del para los habitantes del Banco Mundial. Indicador 2.15 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Número de artículos científicos y técnicos publicados:**

Número de artículos de revistas científicas y técnicas publicados por cada mil millones de dólares PPP\$ PIB. El recuento de artículos es de un conjunto de revistas cubiertas por la Índice de Citación de Ciencia (SCI, por sus siglas en inglés) y el Índice de Citación Social de Ciencia (SSCI, por sus siglas en inglés)

Representa el dinamismo en investigación de la región.

Datos obtenidos de lo reportado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2019.

Unidad: Numero artículos por PPP\$ de PIB.

Fuente: Indicador 2.14 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Empresas apostando por la innovación disruptiva:**

Respuesta a la pregunta de la encuesta para ejecutivos realizada por World Economic Forum en 2017 relativa a el grado de proyectos de innovación basadas en ideas disruptivas o de alto riesgo.

Representa la capacidad de asumir riesgos basados en la innovación y ello es inherente al desarrollo de una estrategia 4.0.

Unidad: de 1= no afecta a 7= fuertemente.

Fuente: World Economic Forum, Executive Opinion Survey, 2016–17. Indicador 2.11 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Índice global de innovación:**

El Índice Global de Innovación (GII, por sus siglas en inglés) es una fuente de conocimiento de las facetas multidimensionales del crecimiento impulsado



por la innovación. Proporciona 80 métricas detalladas para 129 economías para evaluar los progresos de la innovación.

Unidad: de 1 a 100.

Fuente: Cornell University (Cornell University, 2019).



▪ **Porcentaje de personas trabajadoras capacitadas y preparadas para trabajar en los temas y sectores de la Industria 4.0:**

Porcentaje de la población trabajadora con conocimientos, expresado como porcentaje de la población total trabajadora. Se clasifican las personas empleadas en tres categorías: gerentes, profesionales y técnicos y/o profesionales asociados.

Unidad: Porcentaje de la población trabajadora.

Fuente: datos obtenidos de la Organización Internacional de Trabajo (OIT) a través de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y el Índice Global de Innovación de 2015. Indicador 3.02 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Porcentaje de mujeres graduadas en ciencia e ingeniería:**

Porcentaje de mujeres graduadas en ciencias naturales e ingeniería sobre el total de graduados en ciencias naturales e ingeniería.

Unidad: Porcentaje.

Fuente: Datos de 2018 obtenidos para Chile y México de lo reportado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, cuya fuente es la OCDE. En los casos en los que no hay dato (Brasil y Uruguay) se tiene en cuenta el porcentaje de mujeres con empleo y carreras universitarias, que es el indicador 5.1.5 del índice global de innovación (Cornell University, 2019).



▪ **Disponibilidad de científicos e ingenieros en el país:**

Respuesta a la pregunta de la encuesta para ejecutivos realizada por World Economic Forum en 2017 relativa a la disponibilidad de ingenieros y científicos para las organizaciones y empresas.

Representa la capacidad de asumir riesgos basados en la innovación.

Unidad: de 1 = ninguna posibilidad 7 = alta disponibilidad.

Fuente: World Economic Forum, Executive Opinion Survey, 2016–17. Indicador 3.05 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Calidad de las Universidades:**



El número de universidades que cada país incluye en QS University Ranking, 2018 sobre 972 universidades. Los centros de formación de calidad son la punta de lanza en los procesos de transformación cultural y tecnológica.

Unidad: número por millón de habitantes.

Fuente: Quacquarelli Symonds, 2017. Indicador 3.09 del WEF (World Economic Forum, 2018). Datos de población obtenidos de (World Economic Forum, 2018).



▪ **Eficiencia y eficacia regulatoria:**

Valor medio agregado de tres componentes del "Index of Economic Freedom": facilidad para la creación de negocios, eficacia de la regulación laboral para la creación de empleo y oportunidades de profesionales y Regulación monetaria que combina una media de estabilidad de los precios con las medidas de control de precios.

Unidad: de 1 a 100.

Fuente: cálculo de World Economic Forum basado en los datos de "Heritage foundation data, Index of Economic Freedom ", 2017. Indicador 5.01 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Visión futura de la Administración:**

Este indicador consiste en el valor medio de las respuestas a cuatro preguntas realizadas en la encuesta de opinión de los ejecutivos realizada por el World Economic Forum. Estas preguntas son: Rapidez de adaptación de la estructura legal a los nuevos modelos de negocio digital (1=muy lenta, 7= muy rápido); hasta qué punto el gobierno propicia políticas estables para la creación de negocios (1=muy débilmente, 7= muy eficazmente); hasta qué punto el gobierno responde eficazmente a los cambios socio-económicos, (1=débilmente, 7=eficazmente); hasta qué punto el gobierno posee una visión a largo plazo, (1= débil, 7=Fuerte)

Unidad: (1-7) la mejor.

Fuente: World Economic Forum, Executive Opinion Survey, 2016–17. Indicador 5.03 del WEF (World Economic Forum, 2018).



▪ **Percepción del grado de Seguridad Jurídica:**

Este es un indicador de percepción de la calidad de gobernanza de los países publicado por el World Bank. Evalúa la percepción sobre la seguridad jurídica existente en un país.

Unidad: (2.5)-2.5.

Fuente: World Bank, Worldwide governance indicators, 2016. Indicador 5.04 del WEF (World Economic Forum, 2018).

El procedimiento concreto de estandarización ha sido el siguiente:



$$y = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Donde:

X es el valor que se está normalizando;

Max (X) es el valor máximo en los países analizados; y

Min (X) es el valor mínimo en los países analizados;

6. Anexo 2. Indicadores por país

Tabla 2. Indicadores por país

Fuente: elaboración propia basada en diversas fuentes

INDICADOR	BRASIL	CHILE	MEXICO	URUGUAY
1. Complejidad económica (puntuación, 1-10)	5.3	4.5	7.2	5.4
2. Peso de la manufactura: MVA/PIB (%)	10.1	9.9	16.6	11.7
3. Desarrollo de clústeres (1 a 7 la mejor)	4.1	3.4	4.2	3.3
4. Inversión en innovación (Gastos %PIB)	1.2	0.4	0.6	1.7
5. Porcentaje acceso a internet (% de la población que usa internet)	59.7	66.0	59.5	66.4
6. Impacto ICT en creación de modelos de negocio (1 a 7 la mejor)	4.6	5.3	5.0	5.0
7. Aplicación de patentes (aplicaciones por cada millón de habitantes)	1.60	2.93	1.33	1.51
8. Artículos científicos publicados (número por billón PIB PPP\$)	1.60	18.5	5.8	13.2
9. Grado de innovación disruptiva (1-7 la mejor)	3.7	3.2	3.3	3.1
10. Índice global de innovación (puntos sobre 100)	33.82	36.64	36.06	34.32
11. Personas capacitadas sectores 4.0 (% capacitados/trabajadores)	21.6	25	20	21
12. Porcentaje de mujeres graduadas en ciencia e ingeniería	12.5	16.17	29.20	10.10
13. Disponibilidad de científicos e ingenieros en el país (de 1 a 7)	3.6	4.8	4.2	3.5
14. Calidad Universidades (número por millón de habitantes)	0,11	0,60	0,11	0,57
15. Eficiencia y eficacia regulatoria (0-100 la mejor)	60	72.9	69	69.7
16. Visión futura de la Administración (1 – 7 la mejor)	2.6	3.5	3.3	3.6
17. Percepción del grado de Seguridad Jurídica (2.5) -2 la mejor	-0.1	1.1	-0.5	0.6

Nota: todos los indicadores proceden del World Economic Forum (World Economic Forum, 2018), a excepción del indicador número 10 (que procede del Índice Global de Innovación (Cornell University, 2019), del indicador número 12 que procede del Índice Global de Innovación (Cornell University, 2019) y del Informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Sachs, 2019) y del indicador número 14, que ha sido elaborado a partir de información disponible en el mencionado informe del World Economic Forum.



7. Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018).** *Industria 4.0: fabricando el futuro*. Washington. Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://publications.iadb.org/es/industria-40-fabricando-el-futuro>
- Camara da Industria. (2019).** *Plano de Ação da Câmara Brasileira da Indústria 4.0 do Brasil 2019-2022*. Brasília. Recuperado el 31 de 8 de 2020, de Plano de Ação da Câmara Brasileira da Indústria 4.0 do Brasil 2019-2020: https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/arquivos/camara_i40__plano_de_acaoversao_finalrevisada.pdf/view
- Can, M. G. (s.f.).** *Kaizen, Mejora Continua*. Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://manuelguerrerocano.com/cuarta-revolucion-industrial-transformacion-digital-la-industria-4-0/>
- Casalet, M. (2018).** *La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. Estudios de casos, Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95)*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44266-la-digitalizacion-industrial-un-camino-la-gobernanza-colaborativa-estudios-casos>
- Chile, G. d. (2016).** *Programa Estratégico Industrias Inteligentes. Resumen Ejecutivo*. Santiago de Chile. Obtenido de <http://www.agendadigital.gob.cl>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2014).** *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018*. México D.F. Obtenido de https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/normatividad/vigente/PECiTI_2014-2018.pdf
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2019).** *Programas Nacionales Estratégicos*. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/que-son-los-pronaces>
- CORFO. (10 de 24 de 2017).** Se firma acuerdo para aumentar profesionales y técnicos en TIC para la industria 4.0. Recuperado el 31 de 8 de 2020, de https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/24-10-2017_;jsessionid=m-YbWerGuWlt5hfrFnHOeGClwwRKbRPCJ3HEkqQUo3iJ1kOJMvsC!-1853597974!NONE
- Cornell University, I. t. (2019).** *The Global Innovation Index 2019: Creating Healthy Lives—The Future of Medical Innovation*. Ithaca, Fontainebleau, and Geneva. Obtenido de https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019.pdf



- CUTI. (23 de 10 de 2019).** *Sector tecnología alcanzó facturación récord en 2018 y aspira a un peso mayor en el PIB.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://www.cuti.org.uy/novedades/1322-sector-tecnologia-alcanzo-facturacion-record-en-2018-y-aspira-a-un-peso-mayor-en-el-pib>
- Dínamo, E. (5 de 4 de 2019).** *El Dínamo.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://www.eldinamo.cl/educacion/2019/04/05/goran-miladinov-sobre-la-industria-4-0-chile-esta-muy-desarrollado-en-materia-de-automatizacion/>
- Ellen MacArthur Foundation. (2012).** *Towards the Circular Economy.* Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- Fundación Julio Ricaldoni. (19 de 7 de 2019).** *Industria 4.0.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <http://ricaldoni.org.uy/noticias/341-industria-4-0>
- Futurizable. (s.f.).** Recuperado el 31 de 8 de 2020, de Futurizable: <https://futurizable.com/industria/>
- Gobierno de México. Secretaría de Economía. (2019).** *Programa Sectorial de Economía 2020-2024.* Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559457/Programa_Sectorial-ECONOM_A_final_validada.pdf
- Guerra, G. (29 de 7 de 2019).** *La revolución de la economía circular en Chile: made in Tarapacá. País Circular.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de https://www.paiscircular.cl/industria/la-revolucion-de-la-economia-circular-en-chile-made-in-tarapaca/?fbclid=IwAR3MZol0OOT8OPmAog_BXdV18Cb1UXSfn1JlkYZfBN_V7UpvJLa1cSajmDI
- Innovatech, I. (2020).** <https://iotinnovatech.com/en/home/>. Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://iotinnovatech.com/en/home/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2012).** *Sistema de Innovación del Sector Agroalimentario. México.* Obtenido de https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/IICA%20SNIA_M%C3%A9xico.pdf
- Jiménez, D. (23 de 7 de 2020).** *La hoja de ruta 4.0 para la industria minera en Chile propone el uso de la tecnología Blockchain para identificar nuevos activos. Cointelegraph.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://es.cointelegraph.com/news/roadmap-40-for-chiles-mining-industry-proposes-the-use-of-blockchain-technology-to-identify-new-assets>
- México, G. d. (2020).** *El desarrollo de la Industria 4.0 en México.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://www.gob.mx/se/articulos/el-desarrollo-de-la-industria-4-0-en-mexico?idiom=es>
- Ministério da Ciência, Tecnologia , Inovações e Comunicações. (2016).** *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia , Inovação 2016-2022.* Brasília. Obtenido de



http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Politica/16_03_2018_Estrategia_Nacional_de_Ciencia_Tecnologia_e_Inovacao_2016_2022.pdf

Ministerio de Agricultura, G. y. (2020). *Anuario Estadístico Agropecuario.*

Montevideo. Obtenido de

<https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2020/ANUARIO2020.pdf>

ONU. (2019). *Informe sobre el Desarrollo Industrial 2020. La industrialización en la era digital. Resumen.* Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Obtenido de https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-Spanish_overview_0.pdf

Raül Blanco, J. F. (2017). La Industria 4.0: El estado de la cuestión. (T. y. Ministerio de Industria, Ed.) *Economía Industrial*(406), 151-164. Obtenido de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/406/BLANCO,%20FONTRODONA%20Y%20POVEDA.pdf>

Sachs, J. S.-T. (2019). *Sustainable Development Report.* New York. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2019/2019_sustainable_development_report.pdf

Secretaría de Economía. (2016). *Crafting the Future. A Roadmap for Industry 4.0 in Mexico.* México D.F. Obtenido de <https://amiti.org.mx/wp-content/uploads/2018/01/Crafting-the-future-10-agosto-2016.pdf>

Sociedad Uruguaya. (2016 de 1 de 28). MIEM y Cámara Uruguayo-Alemana firmaron acuerdo para impulsar la Industria 4.0. *Sociedad Uruguaya.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://www.sociedaduruguaya.org/2016/01/miem-y-camara-uruguayo-alemana-firmaron-acuerdo-para-impulsar-la-industria-4-0.html>

Uruguay, B. N. (2020). *Cuentas nacionales, evolución reciente de la actividad económica.* Montevideo. Obtenido de <https://www.bcu.gub.uy/Estadisticas-e-Indicadores/Paginas/Presentacion%20Cuentas%20Nacionales.aspx>

Uruguay, G. d. (24 de 7 de 2020). *Ministerio de Industria, Energía y Minería.* Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/programas/centro-automatizacion-industrial-mecatronica-caime>

Uruguay, P. d. (2016). *Uruguay comienza a incursionar en la industria 4.0 con uso de tecnologías digitales.* Recuperado el 2020, de <https://presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/uruguay-industria-4.0-cosse-digitalizacion-miem-ministerio-camara-alemana-riezler>



ASDF

Americas Sustainable Development Foundation

World Economic Forum. (2018). *Readiness for the Future of Production Report 2018.*

Ginebra. Obtenido de

http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf



AVISO

Todas las indicaciones, datos y resultados contenidos en este documento han sido recopilados y revisados cuidadosamente por los autores. El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República Federativa de Brasil o el autor (es) no se hace responsable de ningún reclamo, pérdida o daño directo o indirecto que resulte del uso o la confianza depositada en la información contenida en este estudio, o que resulte directa o indirectamente de errores, inexactitudes u omisiones de información en este estudio.

Los resultados son responsabilidad de los autores, no reflejando la opinión del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovaciones de la República Federativa de Brasil, ni de otras agencias gubernamentales participantes y consultadas para la elaboración de este estudio. El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República Federativa de Brasil y otras agencias gubernamentales renuncian a la responsabilidad de implementar cualquiera de los resultados, interpretaciones, recomendaciones, estimaciones o conclusiones contenidas en este estudio.



ESTE REPORTE ES CARBONO NEUTRO

Factor neutraliza su huella de carbono y se ha convertido en la primera empresa española en certificar la neutralidad de sus emisiones bajo la norma PAS 2060.



La organización está inscrita en el Registro de Proyectos de Huella, Compensación y Absorción de Carbono del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España



Como demostración de su compromiso, Factor calcula la huella de carbono de cada proyecto y la compensa con unidades de valor oficiales en virtud del Protocolo de Kioto.

Este proyecto será carbono neutro.