

Informe Industria 4.0



Contenido

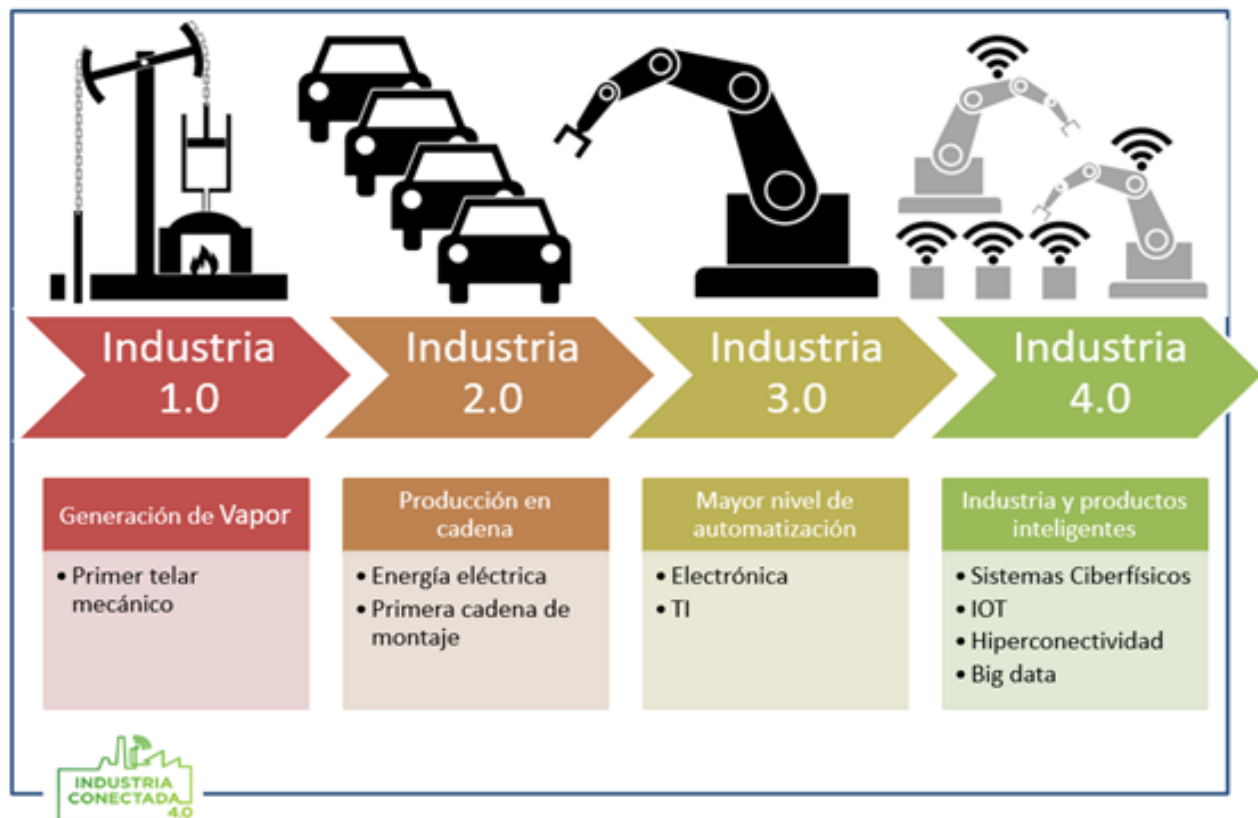
Industria 4.0	3
Principios de diseño	3
Algunos de los requisitos para la transición a la industria 4.0 son:	5
CIBERSEGURIDAD	5
CONECTIVIDAD	5
ROBÓTICA AVANZADA	6
NUEVAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN	6
SENSORES, IOT, CLOUD COMPUTING, BIG DATA	6
Cuáles son entonces los requisitos necesarios para que una empresa merezca el título de Industria 4.0? 7	
Un modelo de producción basado en el desarrollo de tecnologías digitales:	7
Apuesta por la digitalización en la gestión de documentos:	7
Automatización e interconexión en la metodología de trabajo:	7
Organización como concepto para lograr el éxito empresarial:	8
Productividad y competitividad:	8
Industria 4.0 en América Latina	11
El impacto económico de la Industria 4.0	13
ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA INDUSTRIA DE ALEMANIA	13
Cuba y la industria 4.0	18
Los desafíos para el desarrollo de la Industria 4.0	14
Retos de la Industria 4.0	15
Competencias profesionales para el tránsito y establecimiento de la Industria 4.0	16
Conclusiones	24
Elementos para el diseño de una política industrial 4.0	24
Desarrollo de vías de políticas a largo plazo	25
Bibliografía	27

Industria 4.0

El concepto de **Industria 4.0** fue mencionado por primera vez en la feria de Hannover (salón de la tecnología industrial) en el año 2011, con la intención de poner en marcha un proyecto que llevara a cabo la concepción y desarrollo de la fábrica inteligente asociada a la cuarta revolución industrial, una visión de la fabricación informatizada con todos sus procesos interconectados entre sí haciendo uso del internet de las cosas (**IoT**), hoy en día llamado el internet industrial de las cosas (**IIoT**).

Se dice que dos años más tarde el gobierno alemán puso en marcha esta iniciativa con la idea de hacer frente a los grandes avances en materia industrial que se estaban llevando a cabo en los países emergentes como por ejemplo China, y que, al no poder competir en costes de producción, la idea era poder superarlos en tecnología industrial y en la capacidad de fabricar productos de manera individualizada.

El término de **Industria 4.0** abarca muchos conceptos y finalidades, pero los primeros avances en este ámbito implican la incorporación de una mayor flexibilidad e individualización de los procesos de fabricación. La industria automotriz es pionera en la necesidad de poner en marcha estos procesos de fabricación flexibles e individualizados, y es donde ya se están viendo grandes avances en este ámbito debido a que los fabricantes tienen que adaptar los vehículos a las necesidades individuales de los clientes de manera rápida y eficiente.



Principios de diseño

Los principios de diseño en que se basan las empresas y organizaciones para implementar la **Industria 4.0** son los siguientes:

- Decisiones descentralizadas. Los **Sistemas Ciberfísicos** (CPS) tales como Máquina a Máquina (M2M) tienen que ser capaces de tomar decisiones por sí mismos y de realizar sus labores de la manera más autónoma posible.
- La interoperabilidad. Las personas, aparatos, sensores y máquinas tienen que ser capaces de comunicarse entre sí. Aquí juega un papel muy importante el **Internet de las Cosas** (IOT).
- Tecnologías de Datos Inteligentes tales como Computación en la Nube, Big Data, almacenamiento y procesamiento de datos, trazabilidad de dispositivos, modelos de simulación, estatus de producción, comportamiento de consumo energético, órdenes de clientes, datos de retroalimentación de proveedores, datos de sensores, etc.
- - Tecnologías de Fábrica Inteligente tales como Producto Inteligente, Logística Inteligente, Máquinas Inteligentes, Dispositivos Inteligentes, Procesos de Producción Inteligentes, inteligencia descentralizada, auto-optimización y reconfiguración de máquinas, soluciones automáticas, programas ajustados de producción, capacidades optimizadas, impresión 3D, vehículos autónomos, celdas de producción autónomas e inteligentes, transparencia y trazabilidad de productos en su ciclo de vida, realidad aumentada, etc.
- Asistencia técnica. Los **Sistemas Ciberfísicos** tienen que ofrecer soporte y colaboración a los humanos en todas aquellas tareas que sean peligrosas, produzcan fatiga, cansancio o sean desagradables. Y por otro lado tienen que ofrecer una ayuda o soporte que sea capaz de añadir información visual inteligible para el humano de manera que pueda avanzarse a los posibles problemas y/o resolverlos en el menor tiempo posible.
- Transparencia informativa. Los sistemas de información tienen que ser capaces de crear una copia virtual o «**Digital Twin**» del mundo físico que les rodea a través de los datos recopilados a través de sus sensores y otros dispositivos conectados en su ecosistema.



Algunos de los requisitos para la transición a la industria 4.0 son:

CIBERSEGURIDAD

La Ciberseguridad es un área transversal y fundamental para el éxito de la implantación de la Industria 4.0. La utilización masiva de la tecnología de la información en los procesos empresariales, productivos y en los productos reportará enormes ventajas, pero trae consigo la necesidad de garantizar la protección de la información empresarial y la privacidad de las personas. La información es ya hoy en día uno de los principales activos de una empresa, pero garantizar su confidencialidad, integridad y disponibilidad en un mundo conectado es un reto. Además, la Industria 4.0 hará uso de tecnologías como Cloud Computing o modelos de investigación y desarrollo colaborativo, lo que tiene como consecuencia que información vital para la empresa se encuentra en manos de terceros, fuera de sus sistemas. Afortunadamente, a este reto ya se han enfrentado otros sectores que han incorporado con anterioridad la tecnología de la información a sus procesos y existen estándares internacionales que ayudan a enfrentarse a esta situación

CONECTIVIDAD

La conectividad es otra área esencial para el éxito de la implantación de la Industria 4.0. Este nuevo paradigma industrial descansa en un flujo de información para el cual todos los componentes que intervienen tienen que estar conectados. Además de la conectividad del producto en el mundo digital, las nuevas necesidades de información harán que sean necesarias redes de comunicaciones de empresa más potentes y más fiables. Y es necesaria una atención especial a las redes de comunicaciones de la propia planta de fabricación, en el entorno industrial propiamente dicho. De estas redes se necesita:

- Más capacidad, porque controlarán toda la planta en tiempo real con la cantidad de transferencia de datos que eso supone;
- Más fiabilidad, porque manejarán información crítica relacionada con la seguridad;
- Más disponibilidad, porque la producción depende de su funcionamiento;
- Más flexibilidad, porque el proceso productivo se reconfigurará con frecuencia para fabricar multitud de productos y es necesario reducir el tiempo para realizar estos cambios.

8 tecnologías vitales en la industria 4.0 y sus aplicaciones



Robótica colaborativa y drones

La fábrica inteligente mejorando procesos compartiendo espacios con los trabajadores

Sistemas ciberfísicos

En nuestras fábricas, oficinas, automóviles, ciudades...



Realidad aumentada

Mejora la experiencia con el objeto físico

Realidad virtual y visión artificial

Un entorno generado por ordenador que aprende a interactuar con el usuario



Fabricación aditiva

Las impresoras 3D, revolucionando los procesos y sistemas de fabricación



Cloud computing

Acceso y recuperación de datos desde cualquier lugar o dispositivo



BIG DATA y blockchain

Información muy valiosa para mejorar la gestión y los recursos de las empresas

Ciberseguridad

Planes de seguridad para preservar la continuidad del negocio

El desarrollo de varios sistemas informáticos en el país permitirá que sus empresas comiencen a introducir en un futuro no lejano la Industria 4.0, la actual revolución industrial. (DATOS TOMADOS DE: GRUPOGARATU.COM)

Por supuesto, para cumplir estos requisitos es necesario que todos los componentes de la planta se comuniquen con un protocolo lo más uniforme posible. Más allá de la planta de producción, también es necesaria la integración de los sistemas de gestión empresariales de las empresas manufactureras. Estos sistemas son la interfaz entre el proceso de fabricación y el mundo del negocio de la compañía, y la información debe circular entre ambos ámbitos sin transiciones.

ROBÓTICA AVANZADA

La flexibilidad inherente a los procesos de fabricación de la Industria 4.0 requerirá de robots con nuevas capacidades que interactúen con su entorno, con el propio producto fabricado y, por qué no, con las personas. En el futuro, los robots y las personas colaborarán para aprovechar lo mejor de los dos mundos, la flexibilidad de las personas y la potencia y precisión de los robots. Pero esta colaboración solo tendrá lugar si es posible garantizar la seguridad de las personas que comparten el lugar de trabajo con los robots. Además, nuevos paradigmas de programación de robots contribuirán a reducir el esfuerzo relacionado con la realización de nuevas tareas. Estas mejoras permitirán que los robots se utilicen en empresas que no los utilizaban debido a su falta de flexibilidad y al esfuerzo de programación que requerían. En el campo de la robótica, el comité de normalización ISO TC 184 Automation systems and integration, elabora estándares aplicables a los sistemas de automatización y su integración para el diseño, suministro, fabricación, entrega, mantenimiento y desecho de productos. Las áreas concretas cubiertas incluyen los sistemas de información, la robótica fija y móvil en entornos industriales y no industriales, el software de automatización y control y las tecnologías de integración.

NUEVAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN

Las nuevas tecnologías de fabricación permitirán pasar de un modelo de producción de grandes lotes de productos iguales a pequeños lotes de productos personalizados o incluso a la fabricación de productos individuales a un precio competitivo. La fabricación aditiva o impresión 3D, que ya se utiliza ampliamente en la fabricación de prototipos, está avanzando rápidamente hacia la producción del producto final. La fabricación con técnicas de impresión 3D permite multitud de formas y geometrías, adaptando el producto a su uso sin las anteriores limitaciones del proceso de fabricación. Pero además abre un nuevo modelo de negocio para las empresas. Ahora es posible que una empresa se especialice en el diseño de productos sin tener la necesidad de fabricar. Las empresas venderán las especificaciones de sus productos y será el cliente final o un distribuidor local quién “imprima” el producto. El comité ISO TC 261 Additive manufacturing, junto con su homólogo europeo CEN/TC 438 Additive Manufacturing, elaboran los estándares fundamentales que permitirán el despegue de la fabricación aditiva. Este comité está encargado de la estandarización de los procesos, procedimientos de ensayo, parámetros de calidad y acuerdos de suministro relacionados con la fabricación aditiva.

SENSORES, IOT, CLOUD COMPUTING, BIG DATA

Los sensores se incorporan al producto con varias finalidades. En primer lugar, se utilizan durante el propio proceso de fabricación, permitiendo una comunicación entre los medios de producción y el propio producto, lo que se traduce en mayor flexibilidad y menos errores. En segundo lugar, se incorporan al producto final y lo acompañarán durante su vida útil. Esto último abre un mundo de posibilidades tanto para el cliente como para el fabricante. El cliente puede disfrutar de características de uso adicionales y el fabricante puede obtener información de su producto en el mundo real. Esta información obtenida por el fabricante puede realimentarse a la fase de diseño para mejorar los productos futuros o puede utilizarse para ofrecer al cliente servicios de valor añadido, lo que abre nuevas líneas de negocio para los fabricantes tradicionales. Las

normas básicas que garantizan la interoperabilidad de las redes de sensores, como la arquitectura de referencia, se desarrollan en el comité ISO/IEC JTC 1/WG 7 Sensor networks. Además de la arquitectura de referencia, este comité desarrolla estándares que especifican las interfaces para el tratamiento de la información colaborativa en redes de sensores inteligentes y las interfaces con otros sistemas, como las Smart Grids. Los objetos físicos se comunicarán mutuamente a través de internet, utilizando la tecnología de Internet de las Cosas, IoT. Para que esta comunicación pueda tener lugar de manera efectiva debe establecerse un marco que garantice la interoperabilidad. El comité ISO/IEC JTC 1/WG 10 Internet of Things, está elaborando el estándar para la arquitectura de referencia de IoT. El incremento del volumen de información a procesar, y su variabilidad, moverán el tratamiento de los datos desde los servidores de la empresa a modelos de Cloud Computing. La flexibilidad y escalabilidad de la computación en la nube permiten disponer de capacidad de cálculo adicional cuando es necesaria, por ejemplo, en momentos en los que se necesita simular el comportamiento de un nuevo producto, simular cambios en la cadena de producción o analizar datos masivos recogidos por los sensores de los productos. O en los proyectos colaborativos en los que la empresa cuenta con expertos externos, la plataforma de desarrollo puede estar en la nube con todas las facilidades de acceso para todos.

Cuáles son entonces los requisitos necesarios para que una empresa merezca el título de Industria 4.0?

Un modelo de producción basado en el desarrollo de tecnologías digitales:

Ante todo, para adaptarse a la industria 4.0 las empresas tendrán que implantar un nuevo modelo de producción basado en el desarrollo de tecnologías digitales, en la interconexión entre diferentes componentes de producción y en un enfoque orientado a la innovación de productos y procesos. Por lo tanto, para poder sumarse a la digitalización, es necesario invertir en soluciones tecnológicas que hagan más efectivos los procesos y fomenten modelos de trabajo más eficientes.

Apuesta por la digitalización en la gestión de documentos:

Gracias a las nuevas tecnologías disponibles, convertirse en una empresa *paperless* es, no solo más sencillo sino, sobre todo, más rentable en términos económicos.

Los procesos de gestión de documentos en papel se caracterizan por cargas excesivas, dificultades para compartir y archivar, falta de transparencia, altos tiempos de búsqueda, posibilidad de pérdida y otras ineficiencias. El proceso de digitalización además de favorecer la optimización de recursos, garantiza una mayor eficiencia y una mayor productividad.

Automatización e interconexión en la metodología de trabajo:

Una producción industrial totalmente automatizada e interconectada cambia no solo la metodología de trabajo sino también la forma de pensar y gestionar la empresa. Antes de una revolución tecnológica, las empresas tienen que plantearse una revolución cultural en la cual el centro son las personas.

Para poder ser eficiente y productivo en el futuro y adaptarse al mercado cambiante al que nos enfrentamos hay que empezar por la profesionalización y actualización del equipo humano en cada uno de los puestos de trabajo. Para ello, se requiere volver a desarrollar las diferentes habilidades profesionales y rediseñar los métodos de trabajo los cuáles deben ser el punto de partida para las empresas que desean ganar el juego de la nueva revolución industrial.

Organización como concepto para lograr el éxito empresarial:

Las estrategias para conseguir el éxito empresarial son numerosas, citamos a continuación las más relevantes: una buena organización interna, las empresas deben marcar rutinas de trabajo, formaciones a los empleados, priorizar las tareas que se deben ejecutar, comunicación organizacional, ser capaz de superar los problemas de forma rápida y eficaz y tener equipos de trabajos en buenas condiciones.

Cada empresa debe motivar y estimular a los empleados para obtener un rendimiento productivo constante. Delegar el trabajo es una responsabilidad que motiva al empleado ya que percibe confianza y le da mayor autonomía en la toma de decisiones algo positivo para aumentar su vínculo con la empresa.

Productividad y competitividad:

Para mejorar la productividad y la competitividad se debe utilizar de forma eficiente todos los recursos. Se consigue un rendimiento continuo si existe una relación directa entre la cantidad de trabajo y las horas trabajadas realizadas. Estos parámetros son fundamentales para incrementar la producción.

Para conseguir el éxito empresarial es necesario invertir en maquinaria y llevar un control exhaustivo de la misma. Actualmente la maquinaria industrial progresa al mismo ritmo que la innovación tecnológica y resulta necesario para todo tipo de procesos de fabricación y manufactura. Para mejorar la productividad de las máquinas es esencial; reducir tiempos de espera y preparación, aumentar el control de los equipos, eliminar accidentes, reducir las mermas de calidad y número de averías.

Modelos de referencia para Industria 4.0

Existen dos modelos de referencia o marcos metodológicos para Industria 4.0. Estos modelos son: el Modelo de Arquitectura de Referencia de Industria 4.0 (RAMI4.0) y la Arquitectura de Referencia de Internet Industrial (IIRA)¹.

Modelo de Arquitectura de Referencia de Industria 4.0 (RAMI4.0)

El Modelo de Arquitectura de Referencia de Industria 4.0 (RAMI4.0) es el marco normativo europeo para Industria 4.0 y brinda una estructura para describir diferentes aspectos de un activo. Un activo es definido como un “objeto que tiene un valor para la organización”, lo cual no solo incluye a objetos tangibles, sino a objetos intangibles como ideas, archivos y software. Un activo

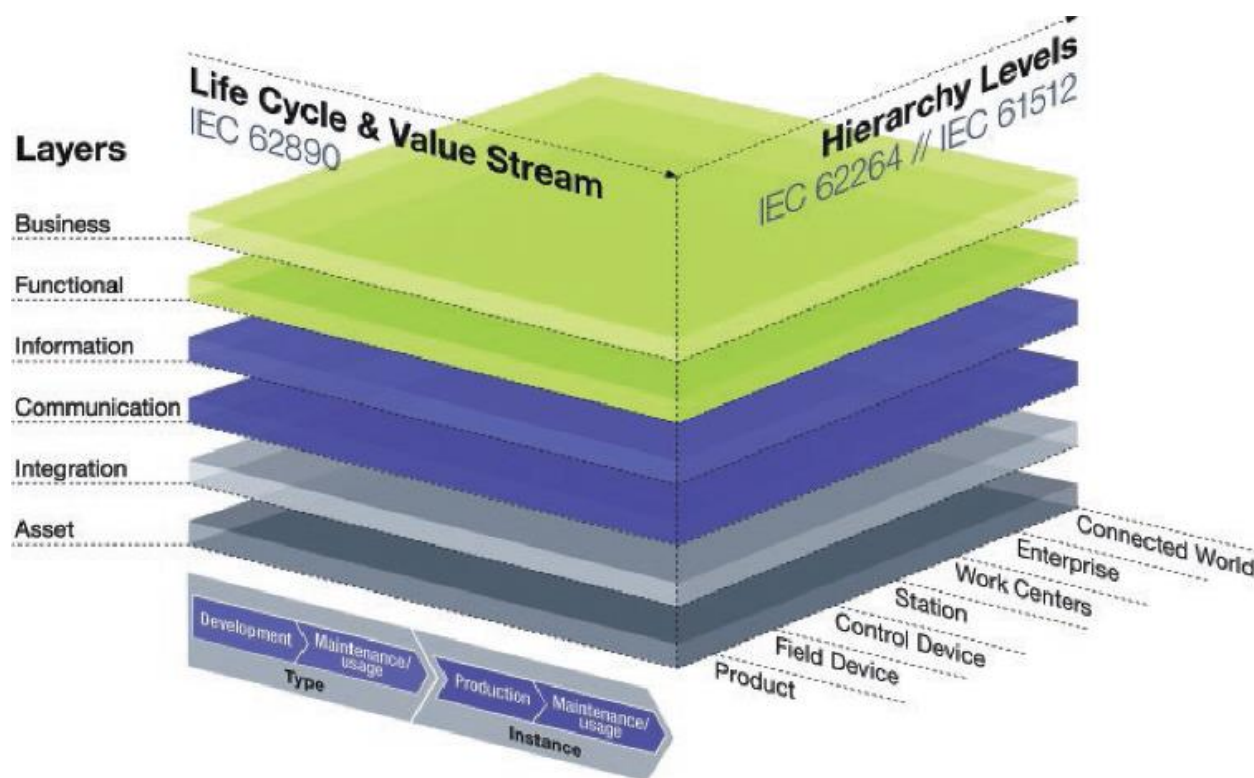
¹ V. M. d. L. C. C. T. Damjanovic-Behrendt, «Data Models for the IIoT and Industry 4.0, and in the Automotive Sector,» IoT4CPS – Trustworthy IoT for CPS, Viena, 2018.

no es necesariamente un componente I4.0: “solo si es una entidad, que tiene al menos capacidad de comunicación pasiva y ha sido equipado con una “interfaz de administración” convierte tal activo en un componente I4.0.” (IEC, 2017).

Uno de los fines de este modelo de arquitectura de referencia es facilitar el entendimiento de un activo a través de 3 dimensiones: (1) eje de arquitectura, (2) ciclo de vida y flujo de valor, y (3) niveles de jerarquía. Este modelo está encaminado a reducir la complejidad de análisis de un activo para unidades mejor gestionables, a la vez que ofrece una vista holística de este, estableciendo las relaciones entre sus dimensiones.

RAMI4.0 describe “un modelo de arquitectura de referencia en la forma de un modelo cúbico de capas, el cual muestra objetos técnicos (activos) en forma de capas, y permite ser descrito, darle seguimiento durante su tiempo de vida completo y ser asignado a jerarquías técnicas” (IEC, 2017).

Dimensiones RAMI4.0



La primera dimensión el eje de “arquitectura” estructura las propiedades y funciones de los activos, especificando su relación respecto a los diferentes aspectos o capas que incluye. En este modelo está organizado en seis capas (Delgado-Fernández, 2018):

- La “capa de negocio” describe la perspectiva comercial de un activo e incluye varios conceptos de negocio. Comenzando con las condiciones de frontera de la organización (tales como condiciones de órdenes y comisiones, por ejemplo), condiciones monetarias (precios, disponibilidad de recursos, descuentos), y condiciones legales y regulatorias. Esta capa incluye también modelos de negocio, procesos de negocio, orquestación de servicios y sus relaciones.

- La “capa funcional” describe las funciones lógicas y técnicas de un activo a partir de ofrecer una descripción digital de sus funciones y una plataforma para integración horizontal entre funciones de activos. Adicionalmente, incluye modelos con datos de procesos en tiempo de corrida, funciones y aplicaciones.
- La “capa de información” describe los datos relacionados a la funcionalidad técnica de un activo. Estos datos están divididos entre datos no de tiempo real (como reglas de ejecución, reglas de integración de datos, e interfaces para transmisión de datos estructurados).
- La “capa de comunicación” describe “el acceso a la información y funciones de un activo conectado por otros activos”. Esta capa se especifica “cuál dato es usado, dónde es usado y cuándo es distribuido” [6]. La comunicación entre archivos requiere interoperabilidad de datos y procesos.
- La “capa de integración” documenta la relación desde el mundo físico al mundo de la información. Los cambios en el mundo físico necesitan ser representados en el mundo de la información. Incluye la infraestructura (ej. RFID y códigos QR) necesaria para implementar una función, así como también las propiedades y funciones de procesos relacionados requeridos para usar un activo en la forma planificada.
- La “capa de activo” representa el activo físico digitalmente, por ejemplo, un equipamiento o un producto. Para cada activo representado en esta capa, tiene que haber una representación virtual en las capas anteriores. Entre los activos físicos, esta capa incluye la interface digital con los humanos y la relación de elementos en la capa de integración.

La segunda dimensión es la del “ciclo de vida y el flujo de valor” y está basada en la norma IEC 62890 (IEC, 2016) – Gestión de ciclo de vida para sistemas y productos usados en mediciones de procesos industriales, control y automatización- en desarrollo con la expectativa de ser publicada en 2018. El borrador público de esta norma hace una clara distinción entre tipo de producto e instancia de producto. El tipo de producto está relacionado con las características comunes a todos los tipos de un activo (ej. identificador de una parte del producto) y la documentación perteneciente al activo (ej. Documentos de diseño, instrucciones de ensamblaje, documentación técnica, certificados, etc). La información sobre la instancia del producto se relaciona a las propiedades de una instancia individual del tipo de activo (ej. Número de serie del producto) y los datos pertenecientes a tal instancia (ej. Datos de producción, datos del tiempo de vida útil, entre otros). En RAMI4.0 esta distinción es utilizada para estructurar el modelo de ciclo de vida. Comenzando con el ciclo de vida del tipo de producto, un activo tiene 4 fases: desarrollo, ventas, soporte postventa y obsolescencia; así como, tres hitos al final de cada una de las tres primeras fases: salida a la venta, final de venta y final del servicio. El ciclo de vida del producto es específico para cada instancia del producto y tiene dos procesos: producción y servicio estándar. El proceso de producción comienza cuando el tipo de producto ha sido desarrollado y se alcanza el hito de liberación de entrega. Este proceso continúa hasta que se consigue el final del hito de producción. Como el proceso de producción, el proceso de servicio estándar comienza cuando se alcanza el hito de liberación de entrega y continúa hasta que el producto es abandonado.

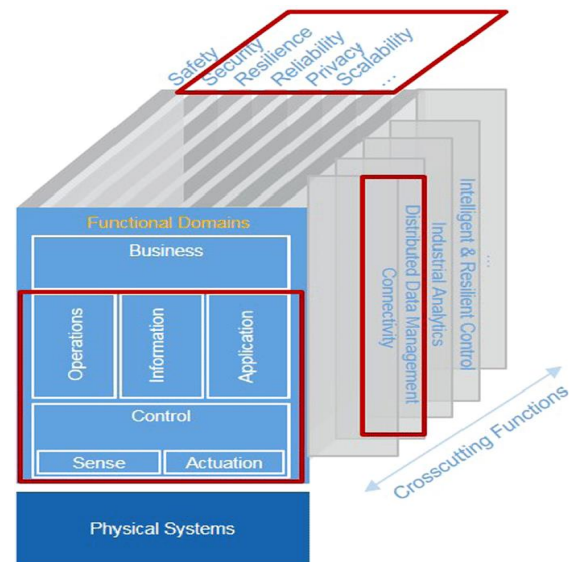
La tercera dimensión es el eje de “niveles jerárquicos” y es entendida como la asignación de modelos funcionales para los niveles de jerarquía específicos. Está basada en las normas IEC 62264-1 e IEC 61512-1, también conocida como jerarquía ISA-95, la cual define fronteras entre los sistemas empresariales y los sistemas de control (ERP y MES). Comenzando desde los niveles bajos, los niveles de producto y dispositivo de campo representan la información

requerida para ejecutar la actividad productiva. Abstrayéndose desde la actividad de producción, el dispositivo de control, la estación, centros de trabajo y niveles empresariales identifica la información de los activos, relacionada a diferentes niveles en la empresa. El nivel final es el nivel del mundo conectado, el cual es el más extendido. Este identifica la información relativa a un activo que está destinado a ser compartido entre diferentes empresas.

Arquitectura de Referencia de Internet Industrial (IIRA)

El Consorcio de Internet Industrial creó el modelo de arquitectura IIRA (Industrial Internet Reference Architecture), basado en la norma ISO/IEC/IEEE 42010:2011. Tiene su foco en varias perspectivas (negocio, uso, funcionalidad e implementación) y varios actores, por ejemplo, usuarios, operadores, dueños, proveedores, desarrolladores y técnicos. La figura siguiente muestra los cinco dominios funcionales definidos por IIRA: dominios de control, operación, información, aplicación y negocio, los cuales son comparadas contra características del sistema (seguridad, privacidad, resiliencia, escalabilidad, fiabilidad) y funciones transversales (ej. conectividad, gestión de datos distribuidos, analíticas industriales, control inteligente y resiliente).

IIRA – Arquitectura de Referencia de Internet Industrial



Ambas arquitecturas de referencia se dice que son complementarias (Damjanovic-Behrendt, 2018), mientras IRA tiene un alcance más amplio, RAMI4.0 es más detallada en relación a determinados aspectos, como IoT en la producción.

Industria 4.0 en América Latina

Para las empresas industriales de alto nivel tecnológico, los beneficios económicos asociados a la Industria 4.0 son evidentes en términos de eficiencia y productividad. Sin embargo, la mayoría de las empresas industriales tradicionales enfrentan diversas barreras —tecnológicas, financieras y de gestión— que dificultan la incorporación de estas nuevas tecnologías. Para remover estos obstáculos se requieren políticas públicas que incentiven la inversión tecnológica en las empresas, el acceso y disponibilidad de proveedores tecnológicos y la formación de recursos humanos especializados.

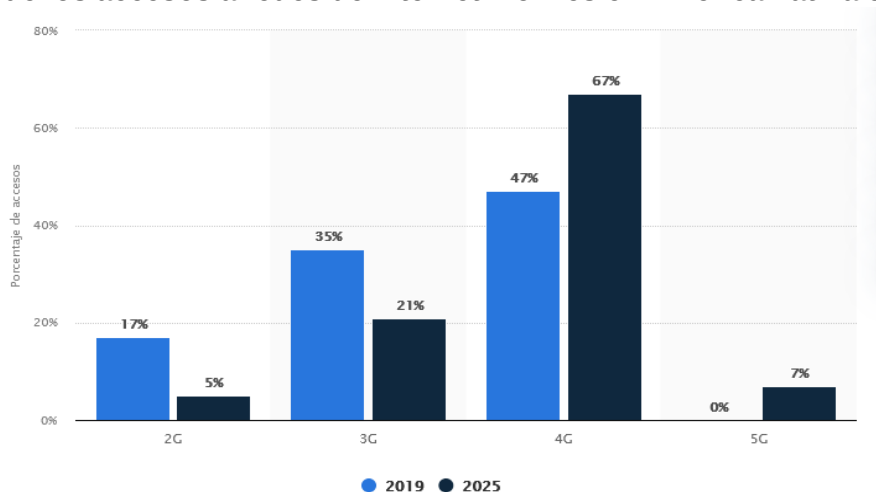
La región requiere de nuevos enfoques de reforma estructural que vayan más allá de las reformas de mercado. Una política industrial 4.0 debe ser guiada por misión, es decir que no solo corrija faltas del mercado, si no que maximice el impacto de transformación económica mediante la creación de nuevas actividades tecnológicas (Mazzucato, 2015).

Un aspecto esencial es salvaguardar la posibilidad de aprendizaje y de acumulación de capacidades tecnológicas de las industrias nacientes y para ello es esencial las políticas industriales y de innovación (Cimoli, Dosi y Stiglitz, 2015).

Las actividades digitales más frecuentes de los usuarios latinoamericanos están relacionadas con la Internet del consumo, es decir, el uso de redes sociales, juegos, videos, comunicaciones y comercio electrónico. En los sectores productivos, el uso de tecnologías digitales se concentra principalmente en herramientas de comunicación y de gestión y, en menor medida, en herramientas de automatización y control de procesos productivos (Katz, 2015). Esta baja adopción de tecnologías digitales en los procesos productivos por parte de las empresas explica que la contribución económica de la Internet de la producción sea poco significativa.

La Industria 4.0 en los países de la región está en una fase incipiente y existe el riesgo de que la brecha se acentúe en los próximos años. Los principales países no han alcanzado todavía las capacidades mínimas, de manera simultánea, en las cinco tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0, esto es conectividad, infraestructura de almacenamiento de datos, computación en la nube, analítica de grandes datos e Internet de las cosas.

Distribución de los accesos a redes de internet móviles en América Latina en 2019 y 2025



La cobertura de redes 4G y 5G está bajo 50%, la banda ancha es menor a 300 kbps, las velocidades de descarga están bajo los 50 Mbps, la inversión en data centers es menor a 0,1% del PIB, las inversiones en servicios en la nube no alcanzan a 3% del gasto en TIC y en las big data e IoT son muy bajas (Huawei, 2015).

Una de las principales brechas digitales de la región es la de infraestructura de redes: según un estudio de la Asociación Interamericana de Empresas de Telecomunicaciones, se deberán invertir en telecomunicaciones 44 mil millones de dólares promedio anual en el período 2017-2025 para que los países de la región se equiparen a los países desarrollados. Esto equivaldría a 356 mil millones de dólares de inversión acumulada entre 2017-2025. Las inversiones para lograr esta meta representan un 10% más que lo que invertiría la industria siguiendo su ritmo histórico de crecimiento en accesos y los patrones de inversión respectivos (ACHIET y Convergencia Research, 2013). Por otra parte, respecto al espectro, en el año 2016 los países de la región tenían en promedio solo 365 MHz de espectro asignado a servicios móviles, distante a los países avanzados que llegan a los 600 MHz y más lejanas de las recomendaciones de la UIT, que pronostican la necesidad de más de 1000 MHz de espectro para 2020 en áreas de alta demanda (Cet.la y Convergencia Research, 2017).

La región está atrasada en conectividad y automatización a la luz de los indicadores de velocidad de conexión, densidad de sensores y de robots. La consultora IDC ha estimado que, de los 11 mil millones de dispositivos conectados actualmente, solo 220 millones están en América Latina,

es decir, alrededor de 2%. Por otra parte, según datos de la Federación Internacional de Robótica, el stock de robots industriales a nivel internacional, alcanza a los 2,7 millones, destacando a República de Corea con la mayor densidad (478 por 10.000 trabajadores manufactureros), seguida de Japón (314) y Alemania (292). En América Latina la mayor densidad la tiene México, con solo 20, seguido por Argentina con 18 y Brasil con 10, mientras que el promedio mundial alcanza a los 66 robots por 10.000 trabajadores manufactureros (International Federation of Robotics).

La Industria 4.0 tiene el potencial de contribuir al cambio estructural de un sector mediante la creación de bienes y servicios digitales, la agregación de valor al incorporar lo digital en bienes físicos y el desarrollo de nuevas plataformas de producción, intercambio y consumo.

El impacto económico de la Industria 4.0

Los avances de cada una de las tecnologías de la Industria 4.0, así como también la interacción entre estas, generan cambios disruptivos en los procesos de producción, con impacto directo en productividad, costos y empleo, así como también en mejoras en la flexibilidad de la manufactura y la emergencia de nuevos productos, servicios y modelos de negocios. Existen diversas estimaciones del impacto de estas tecnologías, algunas de las cuales se presentan a continuación.

El Boston Consulting Group (2015), para el caso de Alemania, estimó incrementos de entre el 5 a 8% de productividad y la creación de hasta 390.000 empleos en los próximos 10 años, producto de las mejoras en la flexibilidad, velocidad, productividad y calidad. Por su parte, MGI (2015), a partir de una investigación con 300 empresas de Estados Unidos, Japón y Alemania, calculó que las ganancias en productividad pueden llegar al 26%. Por su parte, PWC (2014) también para el caso alemán, estimó las ganancias productividad en 18% para cinco años y ahorros anuales de 2,65% por reducciones de costos (véase recuadro XVI.1).

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA INDUSTRIA DE ALEMANIA

Principales resultados:

- En los próximos cinco años las inversiones que las empresas realizarán en soluciones Industria 4.0 representará más del 50% de las inversiones de capital planeadas.
- La industria invertirá 40 mil millones de euros anuales hasta el año 2020. Si se aplica el mismo nivel de inversión para el sector industrial europeo, la inversión sería de 140 mil millones por año.
- Más del 80% de las empresas habrá implementado soluciones Industria 4.0 a lo largo de su cadena de valor, en comparación con sólo el 20% actual. Las empresas encuestadas esperan mejorar su productividad en un 3,3% por año durante los próximos cinco años (18% en cinco años) y ahorros de 2,6% anuales por reducciones de costo.
- Tres factores de mejora identificados:
- Oportunidad de integrar y mejorar la gestión de las cadenas de valor horizontal y vertical.
- Digitalización e interconectividad de productos y servicios.
- Emergencia de nuevos modelos, frecuentemente disruptivos, de negocios digitales.

Por su parte, la consultora Roland Burger (2016) simuló el impacto derivado de la implementación de la Industria 4.0 en una fábrica típica proveedora de partes de automóviles, considerando cinco factores de cambio tecnológico. Los impactos estimados de dicha implementación fueron un aumento simultáneo en el rendimiento del capital invertido (de 15% a 40%), la utilización de la planta (de un 65% a un 90%) y la rentabilidad (de un 6% a un 13,1%).

El impacto de la Industria 4.0 no se circunscribe exclusivamente a la manufactura, sino también a otros ámbitos de la economía y la sociedad. MGI (2015) estimó un impacto potencial de la Internet de las cosas en nueve diferentes áreas de la economía de entre 3,9 y 11,1 billones de dólares anuales para el año 2025. Cabe destacar que el 70% de dicho impacto se generará por los usos entre empresas (B2B) y que entre los nueve ámbitos será en las fábricas (concepto extendido a todo ambiente con una producción estandarizada, que incluye incluso hospitales) donde se generará el mayor valor (31%).

El impacto de las tecnologías no sólo se expresa a través de mayor eficiencia o ahorro de costos de producción, sino que también a través de nuevos modelos de negocios, donde la digitalización puede apoyar, complementar o reemplazar los modelos de negocios actuales

Este mayor despliegue de la Industria 4.0 es consecuencia de la evolución positiva de cinco factores que se consideran claves para la consolidación de este nuevo paradigma tecnológico: en primer lugar, mayor factibilidad técnica de las soluciones tecnológicas para la automatización interactiva de procesos, actividades y tareas; en segundo lugar, los menores costos económicos de las plataformas y soluciones de hardware y software; en tercer lugar, la mejora en la rentabilidad económica de alternativas de automatización como consecuencia de restricciones de oferta y mayores costos laborales; en cuarto lugar, la obtención de beneficios económicos asociados a una mayor eficiencia, mejor calidad y reducción de costos y, finalmente, un contexto regulatorios favorable (MGI, 2017).

Los desafíos para el desarrollo de la Industria 4.0

La industria 4.0 destaca cuatro elementos que, si bien no son los únicos, se consideran como los desafíos más relevantes para su desarrollo. Estos son la definición de los estándares y la seguridad para la interoperabilidad, la capacidad para la analítica de grandes datos, la disponibilidad de redes de comunicaciones y la disponibilidad de recursos humanos calificados.

Cuando los sistemas ciberfísicos interactúan entre sí, por las economías de red, su valor se multiplica exponencialmente y por esta razón la interoperabilidad es fundamental. MGI (2015) estimó que el 40% del valor que puede crear la Internet de las cosas está dado por la interoperabilidad entre sistemas. La interoperabilidad requiere comunicación no sólo dentro de la fábrica, sino que también con sistemas externos a ella, y del procesamiento de datos en la nube, poniendo de relieve los aspectos de estándares y seguridad de dicha comunicación.

Para que la Industria 4.0 alcance su máximo potencial, y no quede restringida al ámbito de los sistemas propietarios, se requieren estándares comunes de comunicación y para que ello ocurra la colaboración entre empresas es indispensable. La Asociación de Operadores Móviles (GSMA) prevé que la innovación en estándares abiertos será el futuro y que las nuevas interfaces y la automatización, sobre plataformas de cloud, impulsarán el ecosistema digital. Al mismo tiempo se abren una serie de requerimientos sobre la seguridad de los sistemas, relacionados no sólo con la información personal o privada, sino que también ante la posibilidad de ataques deliberados a los sistemas productivos (ciber-terrorismo).

Otros de los desafíos de la Industria 4.0 es la analítica de grandes datos, esto es el desarrollo de algoritmos, aplicaciones y soluciones para el análisis y administración de los datos que recolectarán los miles de millones de sensores conectados a máquinas y sistemas. La complejidad de la Industria 4.0 no está en la “sensorización”, ya que estos dispositivos están disponibles, son relativamente simples de manejar y sus precios han ido disminuyendo

fuertemente, si no que la complejidad está en el análisis de los datos que producen dichos objetos para generar mejores decisiones, productos y servicios.

Para que los objetos se comuniquen entre si debe existir una infraestructura de comunicaciones adecuada al interior de la empresa y desde la empresa al exterior. Las conexiones máquinas a máquinas (M2M), a través de tecnología wireless, están en una etapa inicial de desarrollo en nuestro país. El aprovechamiento de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 implica mejorar sustancialmente las condiciones de acceso, en particular en materia de ancho de banda, velocidad y latencia.

La disponibilidad de recursos humanos capacitados es otro factor que condiciona el ritmo de difusión y absorción de las tecnologías de la Industria 4.0. Las estimaciones sobre la sustitución de empleos asociados a tareas rutinarias y la generación de otros que acompañaran el despliegue de la Industria 4.0, no es sólo una medida de los nuevos empleos que se podrían generar, sino que también el tipo de recursos humanos que se necesitan formar para llenar los nuevos puestos de trabajo. La falta de recursos humanos con conocimiento específico para hacerse cargo del desarrollo, implementación y uso de las nuevas tecnologías es uno de los principales obstáculos que enfrentan las empresas.

Retos de la Industria 4.0

Se espera que el nuevo concepto de **Industria 4.0** asociado a la **cuarta revolución industrial** y a los Sistemas Ciberfísicos, sea capaz de impulsar cambios fundamentales al mismo nivel que las tres revoluciones precedentes. Recordemos que en la primera revolución se introdujo la mecánica movida por la energía generada por el agua y el vapor, en la segunda se introdujo la electricidad y la producción en masa inventada por Henry Ford, y la tercera la automatización y la proliferación de las tecnologías de la información.

Si tuviéramos que definir cuáles son los retos más importantes a los que se van a tener que enfrentar las empresas y organizaciones que implementen la **Industria 4.0** serían los siguientes:

- ✓ El desarrollo de software y sistemas de análisis que convierten el diluvio de datos producidos por las **fábricas inteligentes** en información útil y valiosa.
- ✓ Responder a la problemática actual en ahorro de energía y en gestión de recursos naturales.
- ✓ La Ciberseguridad. Los sistemas tienen que estar fuertemente protegidos ante cualquier Ciberataque debido a la necesidad de las industrias a introducir sistemas open source para adecuarse a la **transformación digital** de sus procesos, es por ello que la **Ciberseguridad** es un aspecto clave en esta **cuarta revolución industrial**.
- ✓ Evitar fallos informáticos o de comunicación debidos a la gran inmersión de software e infraestructura IT a la que tienen que someterse los sistemas informáticos de las empresas. Estos fallos podrían producir grandes pérdidas económicas.
- ✓ La falta de personal cualificado: para conducir a sus empresas hacia la **cuarta revolución industrial**.
- ✓ Reticencias de los directivos de las empresas a emprender el camino hacia la **transformación digital** de sus negocios.

- ✓ Ciertas empresas (sobre todo las PYMES) deberán empezar por optimizar sus procesos o bien adecuar antes sus infraestructuras y/o instalaciones productivas (industria 3.0) antes de emprender el camino hacia la **industria 4.0**.
- ✓ Pérdida masiva de puestos de trabajo debido a la automatización de procesos donde va a tener que producirse un cambio en las tareas que desempeña hoy en día el operario de líneas de fabricación. La inmensa mayoría van a tener que reconvertirse profesionalmente, adecuándose a nuevos trabajos que a día de hoy no existen y que surgirán con el cambio de paradigma.
- ✓ Asegurar el retorno de la inversión (ROI) generada por la nueva tecnología requerida para la transformación digital de las empresas.

Competencias profesionales para el tránsito y establecimiento de la Industria 4.0

La Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial, busca la automatización efectiva de la empresa, a partir de interconectar todas las partes de esta, mediante la digitalización de sus procesos productivos y de servicios.

En esta Cuarta Revolución Industrial se exige predominantemente trabajo de alta cognición y requerimientos socioconductuales. Estudios realizados confirman el papel protagónico de las personas, de su capital humano con sus competencias profesionales, tanto en el logro de esa Industria, como en el tránsito hacia la misma; en cómo liderar el proceso de transformación digital en la organización o empresa, así como en el cambio que implicará adaptarse a trabajar en los nuevos entornos conectados de la Industria 4.0.

Hay consenso en que la Internet de las cosas, el análisis Big Data, la Inteligencia Artificial y la Computación en la nube, encabezan hoy la adopción de nuevas tecnologías por parte de las empresas que marchan hacia la asunción de la Industria 4.0, así como en los cambios que serán implicados, que se manifestarán no solo en el reemplazo de empleos antiguos por nuevos empleos, sino también en el cambio del perfil de habilidades o competencias de los puestos de trabajo existentes.

La investigación realizada por el **Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés)** derivó un informe titulado The Future of Jobs Report 2018. Entre el conjunto de puestos que se espera experimenten una creciente demanda en todos los sectores, figuran los analistas de datos, científicos, desarrolladores de software y aplicaciones, y especialistas en comercio electrónico y redes sociales; todos los cuales están significativamente basados en la tecnología o potenciados por ella. Implican habilidades como la originalidad, creatividad e innovación; el pensamiento analítico sistémico y crítico; el aprendizaje en la práctica; el razonamiento y resolución de problemas complejos; así como el diseño y programación.

También se espera que tengan una demanda creciente los puestos de trabajo basados claramente en “habilidades humanas”, como los trabajadores de servicio al cliente, los profesionales de ventas y marketing, capacitación y desarrollo, personas y cultura, y especialistas en desarrollo organizacional, así como gerentes de innovación. Estas comprenden el liderazgo, cooperación, compromiso y desarrollo; el manejo de las relaciones interpersonales y equipos de trabajo y la inteligencia emocional.

Los trabajos que se espera que sean sobrantes incluyen los puestos de empleados administrativos basados en rutinas, como los empleados de introducción de datos, contabilidad y nóminas.

Similares resultados sobre los puestos de trabajo y sus competencias fueron reflejados por el **Banco Mundial** en su Informe sobre Desarrollo Mundial 2019: “La tecnología está cambiando las habilidades que se valoran en el mercado laboral y está aumentando el valor de las habilidades que los robots no pueden reemplazar; por ejemplo, las habilidades cognitivas generales, como el pensamiento crítico, y las habilidades socioconductuales, como el manejo y el reconocimiento de las emociones que permiten mejorar el trabajo en equipo. Los trabajadores que poseen estas habilidades pueden adaptarse mejor en los mercados laborales”. Además, en ese Informe de 2019, el Banco Mundial precisa tendencias: “La tecnología también está modificando los procesos de producción al borrar las fronteras tradicionales de las empresas, expandir las cadenas de valor mundiales y cambiar la geografía del empleo. Por último, está transformando la forma de trabajar de las personas, dando paso a la economía del trabajo esporádico, en cuyo marco las organizaciones contratan a trabajadores independientes para cumplir tareas de corto plazo. La tecnología está modificando la demanda de tres tipos de habilidades en el lugar de trabajo. En primer lugar, la demanda de habilidades cognitivas y socioconductuales no rutinarias parece estar en alza en las economías tanto avanzadas como emergentes. En segundo término, la demanda de habilidades rutinarias para trabajos específicos está disminuyendo. Y, en tercer lugar, las ventajas de la combinación de diferentes tipos de habilidades parecen ir en aumento. Estos cambios se manifiestan no solo en el reemplazo de los empleos antiguos por nuevos empleos, sino también en el cambio del perfil de habilidades de los puestos de trabajo existentes”

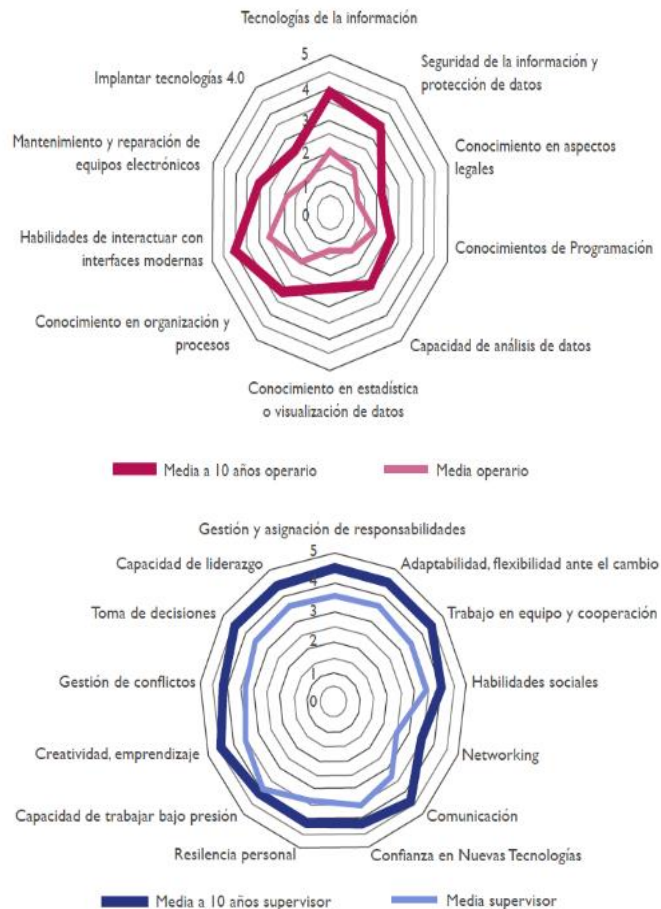
Es necesario esclarecer, que las competencias denominadas “Gestión de recursos financieros y de materiales” y “Gestión de personal” respectivamente, se refieren al contenido administrativo, de rutinas, asociadas a nóminas, inventario material y de personal y contabilidad. Esa parte “administrativa” las asumirán las máquinas o robots, pero el contenido de “gestión” se aumenta y se expresa en liderazgo, innovación, capacitación y desarrollo, manejo de relaciones interpersonales, etc.

Competencias profesionales (Pronóstico 2022)

En crecimiento	En declive
1. Pensamiento analítico e innovación	1. Destrezas manuales, de precisión y resistencia
2. Aprendizaje activo y estrategias de aprendizajes	2. Habilidad memorística, verbal, auditiva y espacial
3. Creatividad, originalidad e iniciativa	3. Gestión de recursos financieros y de materiales
4. Diseño y programación de tecnología	4. Instalación y mantenimiento básico de tecnología
5. Pensamiento y análisis crítico	5. Redacción, lectura, matemáticas y escucha activa
6. Resolución compleja de problemas	6. Gestión de personal
7. Liderazgo e influencia social	7. Sensibilización en calidad y seguridad
8. Inteligencia emocional	8. Gestión del tiempo y coordinación
9. Razonamiento, resolución de problemas e ideación	9. Destreza visual, auditiva y verbal
10. Análisis y evaluación de sistemas	10. Control y monitorización de tecnologías

Según **McKinsey Global Institute** e reducirán las competencias en trabajo físico y manual, así como las relativas a competencias cognitivas básicas (lectores, contadores, procesadores de datos básicos y cajeros), pero en lapso mayor; y aumentará la demanda de competencias relativas a exigencias cognitivas altas y tecnologías avanzadas (con predominio de las digitales) y las competencias socioconductuales o de gestión. Un total de veinticinco habilidades o competencias clasifica la consultora McKinsey en cinco grupos de habilidades: físicas y manuales, cognitivas básicas, cognitivas altas, sociales y emocionales y tecnológicas

Otra investigación, fue la realizada por la **Universidad de Navarra de España** expresada en el informe que titularon Competencias profesionales 4.0. Los resultados se restringieron a empresas industriales productivas y de servicios (fábricas); no obstante, coincidieron en que predominarán competencias asociadas a la gestión y al dominio tecnológico (especificando el dominio de interfaces), que en el estudio se apreciaron en sus desgloses o componentes respecto a mandos intermedios y operarios.



En la Figura 1 se expresa el gráfico de la evolución de las competencias técnicas del operario desde la actualidad y hasta dentro de diez años. De esa evolución concluyen los autores: las competencias técnicas más importantes de los operarios serán: la habilidad de interactuar con interfaces modernas y poseer conocimientos en tecnologías de la información. Se ha de mejorar en los conocimientos relacionados con las tecnologías de la información y en la seguridad y la protección de datos.

A partir de los resultados sintetizados en la Figura 2, se concluyó que: contrario al caso de los operarios, los entrevistados afirman que, para los supervisores, salvo el networking, las competencias personales serán todavía más importantes a futuro. El supervisor ha de mejorar en todas, pero especialmente en creatividad, emprendimiento, comunicación y trabajo en equipo.

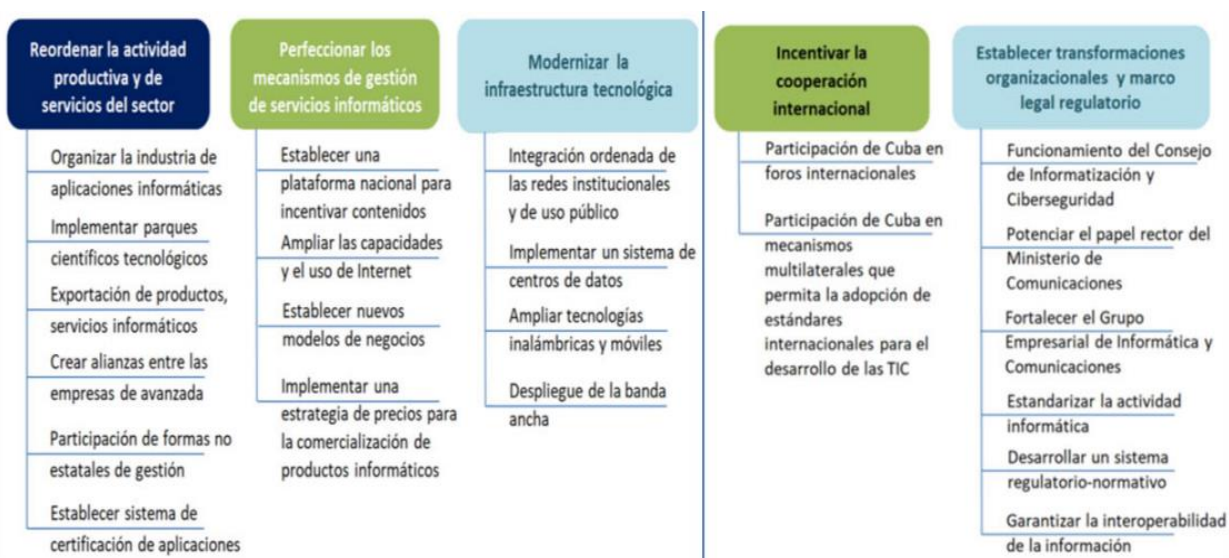
Cuba y la industria 4.0

Para muchos observadores los gobiernos y administraciones públicas necesitan responder a la cuarta revolución industrial, esta los ayudará a fomentar una economía flexible, basada en el conocimiento y las competencias. Las tecnologías 4.0 permitirán reducir los costos de los

servicios sociales sin mermar su calidad, además posibilitarán adaptar el servicio al usuario, mejorar la transparencia y aumentar la participación ciudadana.

Cuba, desde el 2017 aprobó la política integral para el perfeccionamiento de la informatización de la sociedad, compuesta por un conjunto de políticas específicas Ciencias de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto 84 que asegurarán la sostenibilidad y soberanía tecnológica, así como el desarrollo y modernización coherente de todas las esferas del país.

En la siguiente figura, se muestran cinco de estas políticas específicas. Otras se dirigen a: establecer el Programa Nacional de Informatización; el Sistema Nacional de Seguridad; el Sistema de Gestión Integrada del Capital Humano y al fomento de la industria de equipamiento.



El país carga con una infraestructura industrial con altos niveles de obsolescencia y pocos recursos para transformar esa realidad en poco tiempo. En investigaciones realizadas en el año 2018, se pudo constatar que:

- el uso de las TIC se transforma en un fin en sí mismo, y no es considerado como un medio para alcanzar objetivos formulados en la organización;
- infraestructura que limita la dinámica de los trámites en línea, debido a la lentitud y limitación de la conexión;
- existencia de brecha tecnológica entre lo urbano y lo rural.

En Cuba, ya existen entidades que trabajan en esta línea y muestran resultados halagüeños, entre ellas se encuentran: la empresa Tecnomática que labora fundamentalmente en los campos del petróleo y la electricidad, la empresa CEDAI (dirigida exclusivamente a la automatización industrial); la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría que ha provisto a varias empresas de soluciones domésticas en esta área; y la Universidad Central de las Villas Marta Abreu. En esta última, el Grupo de Automatización, Robótica y Percepción se ha adentrado con resultados positivos en el universo de los vehículos autónomos no tripulados, y han logrado diseñar exitosamente, junto con el Centro de Investigación y Desarrollo Naval de Cuba, un prototipo de robot subacuático. Este grupo se ha concentrado en el desarrollo de drones y el procesamiento de imágenes, capaces de detectar plagas, déficits de nutrientes y agua, así como otras condiciones del suelo, imperceptibles al ojo humano.

El tema de la industria 4.0 en Cuba está avalada por diferentes proyectos que se ejecutan en la Empresa de Tecnologías de la Información (Eti), perteneciente al grupo BioCubafarma. En la Feria Expositiva (Sigestic 2019) se presentó una maqueta para representar los nuevos conceptos asociados a la Industria 4.0.

Ejemplos de estos proyectos son:

- La automatización de algunas industrias cubanas como la Empresa de Sueros y Productos *Hemoderivados* Adalberto Pesant y el Laboratorio Farmacéutico Julio Trigo.
- Se realizó un convenio con una empresa española, basada en la exportación de servicios de vigilancia empresarial.
- Así como, un convenio de colaboración con la Facultad de Automática de la Universidad Tecnológica de La Habana.



Factores de alistamiento para Industria 4.0 en la empresa cubana.

En el contexto nacional, al igual que para otros países subdesarrollados, con frecuencia se identifica a la carencia de recursos económicos y tecnológicos, como la principal barrera para disparar la transformación digital industrial. Si bien es cierto que efectivamente los costos asociados a las nuevas tecnologías asociadas a Industria 4.0 suelen ser altos, y que el acceso a tales tecnologías se dificulta para algunos sectores, en este trabajo se defienden alternativas para incrementar el nivel de “alistamiento” de las organizaciones ante la transformación digital vista como un proceso paulatino pero que debe comprenderse y visionarse en las proyecciones estratégicas a tono con las condiciones particulares de cada organización (Delgado-Fernández, 2018).

Algunos de los factores que a juicio de esta autora podrían contribuir a tal “alistamiento” para enfrentar el paradigma de Industria 4.0 son los siguientes:

- Planeación estratégica de Transformación Digital.
- Superación de recursos humanos en los diferentes ámbitos que abarca Industria 4.0 y en todos los niveles de la organización: estratégico, ejecutivo y operacional.
- Mapeo de las nuevas características de los consumidores digitales y levantamiento de aquellas necesidades que están condicionando el cambio.

- Fomento de la innovación dentro y fuera de la organización en alianza con el ecosistema de entidades al cual pertenece o al que podría pertenecer la organización.
- Implementación de uno de los Modelos de Arquitectura de Referencia existentes para Industria 4.0 (RAMI4.0 o IIRA) en escenarios de uso experimentales.

Para la Planeación Estratégica de Transformación Digital de la organización, se debe realizar previamente una evaluación de tendencias en el sector específico, analizadas estas en relación con las prioridades del país en dicho sector. En la literatura global existen experiencias de planeación y agendas de digitalización industrial tanto de países como a nivel de las organizaciones que pueden apoyar este objetivo, un ejemplo puede encontrarse en (Bitkom, 2016).

Uno de los principales retos que tiene la transformación digital industrial es la necesidad de fomentar nuevas competencias a tono con los nuevos paradigmas organizacionales que emergen. Aun cuando la formación de capital humano en las universidades cubanas ha sido y es una de las principales fortalezas de nuestro país, la velocidad del cambio no permite actualizar los planes de estudio con la misma celeridad, y cuando se logra complementar con asignaturas optativas y/o programas de postgrado, los conocimientos que se adquieren suelen ser vistas parciales de un fenómeno transdisciplinar por su propia naturaleza disruptiva. (Delgado-Fernández, 2018).

Planificar una superación integral de los empleados de la organización en todos los niveles es un reto y un factor clave para enfrentar la transformación digital. La superación tiene que ser vista como un proceso holístico de la sociedad. Los cuadros principales de las empresas y el gobierno deben ser abanderados de la transformación, pero para ello deben recibir programas especializados de superación. (Delgado-Fernández, 2018).

Las universidades cubanas están “reaccionando” al fenómeno de la transformación digital, tanto en los programas de estudio de las carreras (por ejemplo el Plan E de la disciplina Informática Empresarial de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de la Habana incluye asignaturas que tributan a Industria 4.0 y ya se cuenta con una asignatura optativa de Industria 4.0 para 3er año de Ingeniería Industrial que se comenzó a impartir en el curso 2018-2019) (Delgado-Fernández, 2018)..

La Escuela de Cuadros del Estado y del Gobierno ha incluido conferencias de actualización sobre Transformación Digital e Industria 4.0 en sus últimas ediciones de Diplomado de Administración Pública y Gestión Empresarial. Podrían investigarse en trabajos futuros otros casos similares donde la academia está reaccionando tempranamente a este cambio paradigmático. No obstante, a estas contribuciones de la academia, podría pensarse en la necesidad de un Programa Nacional de I+D+i para la Transformación Digital que involucre los diversos actores del ecosistema digital y fomente una proactividad articulada y transdisciplinaria. (Delgado-Fernández, 2018).

El consumidor digital en el proceso de transformación digital se considera un aspecto de gran significancia. La avidez de servicios digitales, principalmente por parte de las más nuevas generaciones, está moviendo los modelos de innovación de aquellas que tradicionalmente ocurrían hacia adentro de la organización hacia nuevos modelos de innovación abierta, centrada en el usuario y cada vez más colaborativa. (Delgado-Fernández, 2018).

La innovación es un factor clave del éxito en Industria 4.0. Es cada vez más frecuente el establecimiento de Laboratorios de Innovación para apoyar Industria 4.0, para apoyar escenarios de prueba que faciliten la implementación de soluciones robustas en la industria. Un ejemplo se ilustra en (LNI4.0, 2017). Nuevos modelos de negocio basados en innovación abierta, centrada en el usuario y colaborativa tendrán que ser analizados e incorporados al ecosistema industrial digital de nuestro país. (Delgado-Fernández, 2018).

La implementación de un modelo de arquitecturas de referencia de Industria 4.0 es un desafío necesario. Proyectar escenarios experimentales que permitan simular el comportamiento de la futura organización facilitaría el proceso de implementación. El uso de los denominados Gemelos Digitales (Digital Twin) para simular estos ambientes está creciendo de forma significativa.

Digital Twin son réplicas virtuales de objetos o procesos que simulan el comportamiento de sus homólogos reales que ayudan a optimizar el desempeño del negocio (Deloitte, 2017). Constituye una de las tecnologías de vanguardia para la Industria 4.0, porque permite analizar el comportamiento, bajo determinados supuestos, de procesos u objetos industriales. Combinados con analíticas y otras tecnologías habilitadoras están permitiendo acelerar el proceso de transformación. En (General Electric, 2016) se identifican aplicaciones empresariales habilitadas por Digital Twin en los ámbitos siguientes:

- Gestión de desempeño del activo (detección de anomalía, monitoreo de su condición, diagnóstico predictivo, estrategia de mantenimiento)
- Optimización de operaciones (excelencia operacional, optimización de arranque de planta, optimización de eficiencia, optimización y excelencia del despacho, gestión de mantenimiento, optimizador de la vida del activo)
- Optimización de la empresa (pronóstico de carga, excelencia de despacho de flota, planeación del mantenimiento de la empresa)

Otras aplicaciones de la tecnología Digital Twin son presentados en (Fei Tao, 2017) (Boschert, 2018).

Otro concepto a explorar en etapas iniciales de implementación de los modelos de referencia, particularmente explícito en RAMI4.0, es el de Interfaz de Administración de Activos (AAS, por sus siglas del inglés "Active Administration Shell"). Mediante un AAS se podría proveer metadatos semánticos a los CPS, los cuales incluyen modelos para propiedades funcionales y no-funcionales; así como, tipos disponibles de datos crudos e información a lo largo del ciclo de vida del activo (BMW & ZVEI, 2016).

La otra estrategia ganadora en nuestro contexto sería el uso de código abierto para soportar soluciones de Industria 4.0. El Grupo de Trabajo IoT de Eclipse (ECLIPSE, 2017) ha identificado potenciales tecnologías de código abierto para ello, clasificándolas en:

- Agregación de datos
- Desarrollo PLC
- Seguridad
- Gestión de dispositivos
- Gestión de eventos y análisis de datos

- Digital Twin

Los autores de este estudio (ECLIPSE, 2017) proponen plataformas de software de código para cada uno de estos ámbitos de Industria 4.0.

Conclusiones

La 4ta Revolución Industrial trae consigo la transformación digital de las organizaciones que aprovechando tecnologías (como los sistemas ciberfísicos, Internet de las Cosas, Big Data, Computación en la Nube, fábricas inteligentes, robótica industrial, ciberseguridad, realidad aumentada y digital twin, entre otras), incrementan la eficacia y eficiencia de sus producciones y servicios. (Delgado-Fernández, 2018).

Como un paradigma complejo, la llamada Industria 4.0 debe ser analizada mediante modelos de arquitecturas de referencia multidimensionales. Existen dos modelos de arquitecturas de referencia aceptados a nivel global, el RAMI4.0 y el IIRA. Ambos comparten visiones comunes y aunque tienen algunas diferencias en sus enfoques, son interoperables en su esencia.

La implementación de modelos de abstracción como los descritos en este artículo posibilitaría avanzar en la digitalización industrial de las organizaciones cubanas. Sin embargo, existen determinados elementos que hay que considerar previamente, como ejercicio de alistamiento para el éxito de la transformación. En este artículo se mencionan algunos de estos factores, como (1) tener un plan estratégico alineado a la Industria 4.0, (2) preparar a los recursos humanos en este nuevo paradigma, (3) considerar las nuevas necesidades del consumidor (digital), (4) fomentar la innovación colaborativa y centrada en el usuario, y (5) experimentar en escenarios de pequeña escala, apoyados por las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 (Delgado-Fernández, 2018).

La Industria 4.0 se encuentra apenas en sus inicios. Existen carencias de conocimiento aún por descubrir y se requiere un fuerte movimiento innovador para experimentar modelos, prototipos y soluciones que vayan transformando la empresa en consonancia con este paradigma. Lo que no cabe dudas es que no es una opción, su adopción es inevitable, como lo fue la máquina de vapor, la electricidad o la electrónica, la automatización y la tecnología de la información en las revoluciones industriales que precedieron a esta 4ta Revolución Industrial. (Delgado-Fernández, 2018)

Elementos para el diseño de una política industrial 4.0

Es necesario avanzar en una política industrial 4.0 bajo incertidumbre tecnológica. Por lo tanto, la política industrial debe ser más flexible y más innovadora, y con foco en:

- Preparar a las empresas para evaluar la tecnología
- Preparar a las empresas para hacer un buen uso de ella
- Insertar a las empresas en la discusión mundial
- Acelerar los procesos de difusión y adopción de las nuevas tecnologías.

Se recomienda además diseñar una política de apoyo que contenga tanto elementos de adopción de tecnología como de desarrollo propio, por una parte, la transferencia y catching-up tecnológico y, por otra, mecanismos para desarrollar innovaciones en sectores estratégicos. Las distintas realidades de los países hacen que desde el punto de vista de las políticas industriales estas tengan énfasis distintos. En consecuencia, las políticas podrán acelerar el proceso de diversificación productiva en el caso de países de ingresos medio-bajos o consolidar nuevas capacidades tecnológicas en el caso de países de ingresos medio-altos.

Para el diseño de política es útil distinguir tres categorías de empresas que intervienen por el lado de la oferta, la demanda y la infraestructura de la Industria 4.0. Por el lado de la oferta, están

las empresas proveedoras de automatización industrial, principalmente extranjeras, con una alta tasa de innovación de productos, pero con incertidumbre sobre los estándares de diseño dominantes. Por el lado de la demanda, están las empresas industriales locales usuarias que aprovechan las nuevas aplicaciones para mejorar los procesos y la operación de la empresa en toda la cadena de valor. Y por el lado de la infraestructura, están las empresas locales y extranjeras de hardware, software y redes de comunicaciones que proveen las plataformas de integración de sistemas y comunicación.

Los procesos de innovación son liderados por consorcios de empresas internacionales especializadas en automatización industrial, redes de comunicación hardware y software; y su desarrollo ha estado localizado en países que cuentan con un ecosistema digital sofisticado y fuertes alianzas público-privadas. Es necesario que las empresas de la región se integren en los consorcios públicos-privados, que están colaborando en la resolución de temas de seguridad e interoperabilidad, destacando el Industrial Internet Consortium, AllSeen Alliance, Open Interconnect Consortium, Advance Manufacturing Partnership y la Industry 4.0.

Es necesario construir espacios de colaboración pública-privada en torno a la Industria 4.0, con el objetivo de promover procesos de innovación en las industrias a través de la interacción entre las empresas proveedoras de tecnologías y las empresas usuarias y clientes. Esta interacción se está dando de manera incipiente en las industrias de recursos naturales —petróleo, minería y agroindustria— y en servicios de infraestructura.

Desarrollo de vías de políticas a largo plazo

Si lo que se pretende es que la política industrial realmente sirva de respaldo a metas sociales más amplias, debe diseñarse pensando en la continuidad y en la consistencia. Debe orientarse a crear una vía que establezca las herramientas de políticas “correctas”, ya sean reglamentos, normas o incentivos fiscales o financieros. Esto se ejemplificó con la transición energética de Alemania y el instrumento específico de las tarifas reguladas, un caso donde el fuerte apoyo a las energías renovables ha creado y ampliado mercados más allá de un punto de no retorno, i. e. volver esta dirección de política industrial endógena con respecto al propio sistema económico. No obstante, esto exige poner más atención a los patrones de comportamiento de los consumidores que responden a nuevas opciones tecnológicas.

Bibliografía

- A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity. (2017). *MGI-McKinsey Global Institute*.
- Akamai. (2017). State of the Internet Report, Q4 2016 report.
- Bitkom, VDMA, & ZVEI. (2016). *Implementation Strategy - Industry 4.0*. Berlin,.
- Boschert, C. H. (2018). *NEXT GENERATION DIGITAL TWIN*. Las Palmas de Gran Canaria: Proceedings of TMCE 2018.
- Cimoli, M., Dosi, G., & Stiglitz, J. (2015). The rationale for industrial and innovation policy, Which Industrial Policy Does Europe Need?, in *Intereconomics, Review of European Economic policy*, Vol. 50, N3.
- Commission, I. E. (2016). *IEC 62890 Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation*. IEC.
- Commission, I. E. (2017). *Smart Manufacturing – Reference Architecture Model Industry 4.0 (RAMI4.0)*.
- Damjanovic-Behrendt. (2018). *Data Models for the IIoT and Industry 4.0, and in the Automotive Sector*,. Viena: IoT4CPS – Trustworthy IoT for CPS.
- Delgado-Fernandez, T. (2018). *INDUSTRIA 4.0: MARCOS DE REFERENCIA Y FACTORES DE ALISTAMIENTO EN EL CONTEXTO CUBANO*.
- Deloitte. (2017). «*Industry 4.0 and the digital twin: Manufacturing meets its match*. Deloitte University Press.
- Electric, G. (2016). *GE Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant*.
- Group, B. –T. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth In Manufacturing*.
- GSMA. (2014). *Understanding the Internet of Thing*.
- Huawei. (2015). *Connect where it counts. Mapping your transformation into a digital economy with GCI 2016*.
- Mazzucato, M. (2015). Innovation systems: from fixing market failures to creating markets, Which Industrial policy Does Europe Need?, in *Intereconomics, Review of European Economic policy*, Vol. 50, N3.
- Research, A. y. (2013). *Latinoamérica desafío 2020. Inversiones para reducir la brecha digital*.
- Schwab,, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
- Stiglitz, J., Dosi, G., Mazzucato, M., Pianta, M., & Lütkenhorst, W. (2017). *Políticas industriales y tecnológicas en América Latina*. CEPAL.

Tao, J. C. (2017). *Digital twin-driven product design, manufacturing and service*. Int J Adv Manuf Technol.

ZVEI, B. &. (2016). *Structure of the Administration Shell*. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.