

Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México

Strategies of the public and private sector for the implementation of Industry 4.0 in Mexico

Miriam Angélica Mejía Huidobro

Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, México.

miriam_huidobro05@hotmail.com

Alejandro D. Camacho Vera

Instituto Politécnico Nacional, ENCB, México.

adcamachov@yahoo.com.mx

Mariana Marcelino Aranda*

Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, México.

mmarcelino@ipn.mx

Recibido 31, julio, 2019

Aceptado 10, diciembre, 2019

Resumen

En la industria manufacturera ha surgido un gran interés por utilizar las tecnologías cotidianas y emergentes en ambientes industriales para afrontar los cambios del mercado económico. Se considera entonces que se ha dado paso a la cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0. Es decir, se pretende tener fábricas inteligentes donde las máquinas se comuniquen entre sí y aprendan, y que la intervención humana sea cada vez menor en los procesos de producción. Países como México, se han visto forzados a implementar estrategias que impulsen la digitalización de sus industrias para no perder competitividad en el mercado y mantenerse a la vanguardia en innovación tecnológica. El presente es un trabajo exploratorio donde se analiza y describe la industria 4.0, y las estrategias que se han desarrollado por parte de los sectores públicos y privados para su implementación. México da mucha importancia a las cuestiones educativas y de capacitación de la Industria 4.0, a través de la creación de centros de innovación y tecnología, rediseño de planes de estudio, capacitación de la fuerza laboral actual y, programas para impulsar la innovación donde se trabaja de cerca con las empresas que no tienen el conocimiento adecuado para abordar la iniciativa. Desempleo y falta de equipos e infraestructura pueden ser grandes problemas por resolver en relación con la Industria 4.0 en México.

Palabras clave: Industria 4.0, Cuarta Revolución Industrial, Innovación Tecnológica, Competitividad empresarial.

Abstract

In the manufacturing industry, much interest has come up for the use of day-to-day and emerging technologies in industrial environments to confront the dynamic challenges in the financial market. Many authors consider that the fourth industrial revolution, known as industry 4.0, is taking place. Countries such as Mexico apply strategies that boost the digitization of their industries, to avoid losing competitiveness in the market and stay at the forefront of technological innovation. This exploratory work aims to analyze and describe the Industry 4.0 and, the strategies for implementation that had been developed by the public and private sectors. Mexico gives much importance to educational issues and training for the Industry 4.0, through the creation of innovation and technology centers, updating and redesigning study plans, training of the current workforce and programs to boost innovation, working closely with companies lacking the right knowledge to approach the initiative.

Unemployment, lack of equipment, and poor infrastructure may be important issues related to Industry 4.0 in Mexico.

Keywords: Industry 4.0; Fourth Industrial Revolution; Technologic Innovation; Business competitiveness.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de la tecnología para la optimización de nuestras tareas diarias se ha visto marcado en la sociedad hasta el punto de hacernos dependientes de éstas. Gran parte de los avances tecnológicos que comúnmente se presentan, como los ambientes inteligentes instalados en casas u oficinas, los dispositivos móviles como smartphone, smartwatch (Preuveneers & Ilie-Zudor, 2017) entre otros, son posibles gracias a las capacidades de conectividad y transmisión que nos brinda el internet.

Los rápidos avances tecnológicos y el aumento de usuarios conectados a internet han influenciado la globalización de los mercados debido a una sociedad de información mundial más integrada (Bauer, Hämmerle, Schlund, & Vocke, 2015). Según la International Telecommunications Union (ITU, 2018), para finales de 2018 se estima que el 51.2% de la población mundial se encuentra en línea, lo que ha provocado altas expectativas en los requerimientos de los consumidores.

Por tanto, el mercado actual enfrenta cuestiones como la demanda de productos más personalizados y asequibles (Bauer *et al.*, 2015), a la obligación de las industrias de ser sustentables (Wang, Wan, Zhang, Li, & Zhang, 2016), a impulsar una economía inteligente, ecológica e inclusiva (Pérez, Irisarri, Orive, Marcos, & Estevez, 2015), entre otros factores. Por lo que la forma de producción existente se está quedando obsoleta (Wang *et al.*, 2016), ya que para cumplir estos nuevos requerimientos, las modificaciones necesarias se traducen en altas inversiones y costos (Santos, Loures, Piechnicki, & Canciglieri, 2017).

A partir de ello se puede empezar a vislumbrar el reciente interés industrial por hacer uso de avances tecnológicos que permitan incrementar su competitividad y productividad a nivel global cumpliendo con los dinámicos requerimientos de producción, mejorando su efectividad y eficiencia, y caracterizando con flexibilidad y sustentabilidad sus procesos de producción (Bauer *et al.*, 2015; Lu, 2017; Mueller, Chen, & Riedel, 2017). Entonces, el uso de las tecnologías cotidianas y emergentes en la industria da paso a la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0 (Akash, Bath Kumar & Rana, 2016; Preuveneers & Ilie-Zudor, 2017).

La iniciativa Industria 4.0 es promovida por el gobierno alemán a través del Ministerio de Educación e Investigación (FMER) y el Ministerio de Economía y Energía (FMEAE), quienes lanzan en 2011 el *High-Tech Strategy 2020 Action Plan*, el cual tiene como objetivo impulsar la fabricación digital a través de la interconexión entre máquinas, productos, cadenas de valor y modelos de negocios (Wang *et al.*, 2016; European Commission, 2017; Mueller *et al.*, 2017).

Aunque la iniciativa surge en 2011 la producción científica en el tema se empieza a formalizar hasta 2014 con artículos como (Drath & Horch, 2014) donde se discute la relevancia que comenzaba a tomar el término, los recursos en investigación que se estaban invirtiendo, y las propuestas y núcleo de ideas que se comenzaban a formar alrededor de la iniciativa Industria 4.0. Es decir, apenas se empezaba a dar una visión general de lo que conlleva esta cuarta revolución industrial y de cómo cambiaría el enfoque industrial del momento (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014).

Posteriormente se comienzan a abordar conceptos y arquitecturas que describen el funcionamiento de la Industria 4.0 y los requerimientos que deben cumplir las industrias para abordar el paradigma (Bauer *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016; Mueller *et al.*, 2017), así como las aplicaciones y ventajas que se obtienen

(B. Li, Hou, Yu, Lu, & Yang, 2017; Strange & Zucchella, 2017). Los documentos más recientes revisados se enfocan en el impacto que tendrá en las sociedades la implementación de nuevas tecnologías en la industria (Dalenogare, Benitez, Ayala, & Frank, 2018; Müller, Kiel, & Voigt, 2018; Ustundag & Cevikcan, 2018).

Las estadísticas que ofrece la Web of Science, permiten identificar que la producción científica está más enfocada en áreas de ingeniería con un 85% y ciencias computacionales con 70%. Las áreas de educación solo cuentan con un 5% de producción, y ciencias sociales y leyes gubernamentales menos del 2%. No obstante, que la iniciativa Industria 4.0 surgió en Alemania, China se encuentra a la vanguardia en cuanto a investigaciones relacionadas al tema, donde aparecen como principales autores Di Li, Shiyong Wang, Jiafu Wan, Chengliang Liu y Chunhua Zhang.

México ha iniciado un proceso de incorporación de la Industria 4.0 a diferentes niveles, educativo, empresarial, de política pública, etc., que nos obliga a profundizar en el estudio de este nuevo enfoque, por lo que este trabajo analiza y describe a la industria 4.0, y las estrategias que se han desarrollado por parte de los sectores públicos y privados para su implementación.

MÉTODO

Este trabajo de investigación es de alcance de alcance exploratorio. Se utilizó el método del análisis documental y se realizaron las siguientes acciones:

- Establecimiento de los objetivos de la investigación.
- Búsqueda de información conceptual en bases de datos como Scopus y la Web of Science.
- Selección de artículos y reviews pertinentes para conceptualizar el objeto de estudio.
- Búsqueda de información estadística en noticias, reportes y páginas oficiales.
- Selección de información pertinente para el logro de los objetivos.
- Análisis de información recabada.
- Redacción del presente trabajo incluyendo las conclusiones alcanzadas.

RESULTADOS

En la literatura, los cambios más puntuales en los procesos de producción son los que marcan el inicio de una nueva revolución industrial, y en la historia se cuenta con tres revoluciones industriales identificadas, como se muestra en la Figura 1. (Akash, Bath Kumar & Rana, 2016; Cortés, 2016; Lu, 2017; Sachon, 2017; Dalenogare *et al.*, 2018)

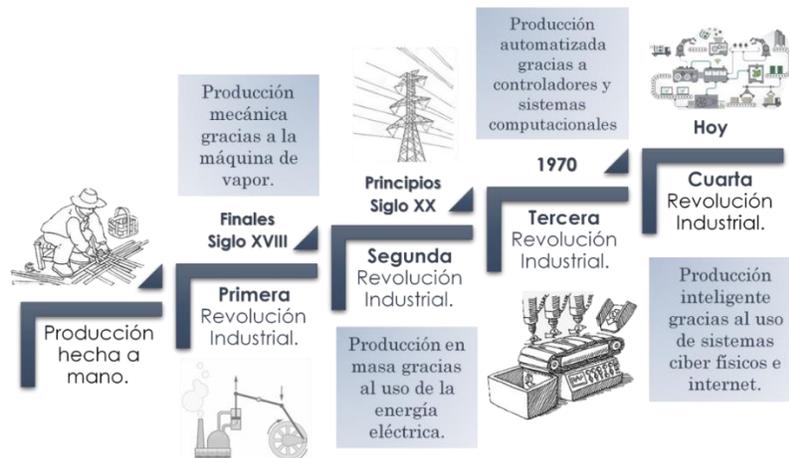


Figura 1. Revoluciones Industriales.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Akash, Bath Kumar & Rana, 2016; Cortés, 2016; Lu, 2017; Sachon, 2017; Dalenogare *et al.*, 2018).

La cuarta revolución que se encuentra en marcha se refiere al uso de tecnologías de información y comunicación para la automatización en ambientes manufactureros y la integración del conocimiento, que permitirá a las industrias adaptarse a los rápidos cambios del mercado (D. Li, Tang, Wang, & Liu, 2017; Mueller *et al.*, 2017).

La Industria 4.0 se ha formalizado con el establecimiento de la *Plattform Industrie 4.0* anunciada oficialmente en la Feria de Hannover 2013. La plataforma sirve como punto de reunión, discusión y trabajo colaborativo para las diversas asociaciones alemanas que trabajan en dicho proyecto, con el objetivo de convertir a Alemania en el proveedor líder de equipos de fábrica para trabajar sobre este nuevo paradigma (FMEAE & FMER, 2019).

A raíz de la propuesta alemana Industria 4.0, se han generado en otros países propuestas similares (Figura 2), mismas que reflejan la importancia del uso de las tecnologías emergentes para que, en este caso, las industrias manufactureras puedan mantenerse a la vanguardia. Con dichas estrategias podemos ver el auge que está tomando el concepto Industria 4.0 en algunos de los principales países industriales.



Figura 2. Estrategias similares a la Industria 4.0.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Wang *et al.*, 2016; Mueller *et al.*, 2017).

¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0?

En la literatura revisada no se ha encontrado un concepto único para Industria 4.0, pero entre las aportaciones más destacadas podemos enlistar las siguientes:

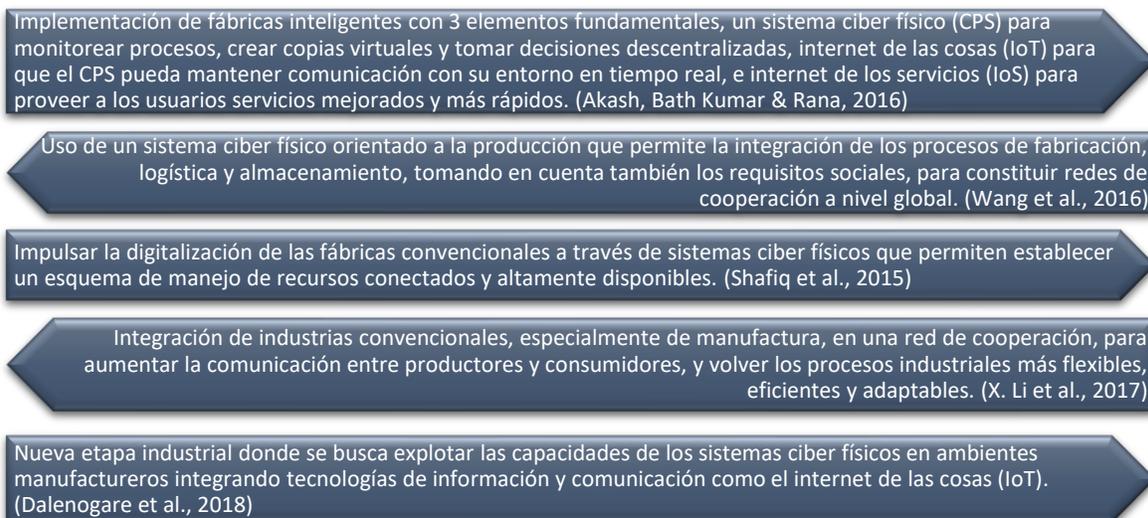


Figura 3. Diversos conceptos de *Industria 4.0*.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Akash, Bath Kumar & Rana, 2016; Wang *et al.*, 2016; Shafiq, Sanin, Toro, & Szczerbicki, 2015; X. Li *et al.*, 2017; Dalenogare *et al.*, 2018) respectivamente.

Es decir, que la Industria 4.0 tiene como objetivo explotar las capacidades de las tecnologías emergentes para hacer posible la implementación de una fábrica inteligente y la creación de redes industriales que permitan hablar de una cooperación global.

Cómo menciona Wang *et al.* (2016), una fábrica inteligente es la adaptación de un sistema ciber físico (CPS) a ambientes manufactureros, en la cual se integran máquinas y productos con sistemas de información para una producción ágil y flexible. Para una eficiente adaptación se hace uso de tecnologías inteligentes definidas como tecnologías capaces de auto adaptarse a los cambios en el entorno y mejorar su funcionalidad en las nuevas circunstancias (Akash, Bath Kumar & Rana, 2016).

El objetivo de la Industria 4.0 es la comunicación y cooperación entre industrias de diferentes lugares del mundo, para que exista una retroalimentación en la que todas las partes se vean beneficiadas, tanto productores como consumidores. Por tanto, redes, sensores, tecnologías de comunicación, son piezas clave (X. Li *et al.*, 2017). En los últimos años la implementación de redes inalámbricas ha tenido varias ventajas, como flexibilidad, movilidad, omisión de cableado, entre otras, y su uso se ha popularizado tanto que ha surgido el interés por implementarlas en un ámbito industrial (Preuveneers & Ilie-Zudor, 2017; X. Li *et al.*, 2017).

El ambiente industrial requiere verificar cuestiones de seguridad, flexibilidad, precisión, por lo que los sensores, aunque son una de las bases principales para establecer una fábrica inteligente, por sí solos no podrían ser utilizados, se debe hacer uso de otras tecnologías emergentes como el análisis de Big data, el Internet de las cosas, sistemas embebidos y la nube, entre otros, abriendo paso al concepto de redes industriales inalámbricas (X. Li *et al.*, 2017).

Según Lu (2017) la Industria 4.0 tiene 5 características principales:

- Digitalización, optimización y personalización de la producción.
- Automatización y adaptación.
- Interacción humano-máquina.
- Valor agregado a los ya existentes servicios.
- Intercambio automático de información.

La principal tecnología que hace posible el desarrollo de una fábrica inteligente dentro del paradigma Industria 4.0 es el internet (Brettel *et al.*, 2014), tanto el internet de la cosas (IoT), como el internet de los servicios (IoS). Otros habilitantes cruciales son los sistemas ciber físicos (CPS), el análisis de Big data (D. Li *et al.*, 2017; Preuveneers & Ilie-Zudor, 2017; Ustundag & Cevikcan, 2018) y los servicios en la nube (Yue, Cai, Yan, Zou, & Zhou, 2015). Aunque son tecnologías totalmente diferentes, todas guardan una estrecha relación en el funcionamiento de una fábrica inteligente.

¿CÓMO FUNCIONA LA INDUSTRIA 4.0?

Para una ilustración en general de cómo funciona la Industria 4.0, tenemos que está compuesta de 4 rubros principales. Los dispositivos y fuerza de trabajo en la capa física, quienes realizan las funciones principales de producción en la industria. Las redes, que permiten la comunicación en tiempo real. Los recursos en la nube para almacenamiento y análisis de datos. Las aplicaciones que son los productos y/o servicios finales a los que accede el consumidor (X. Li *et al.*, 2017).

Por otra parte, tenemos que Santos *et al.* (2017) propone otros 4 pilares en los que se sostiene la Industria 4.0: soluciones inteligentes que incluye productos y servicios inteligentes, innovaciones inteligentes, cadenas de suministro inteligentes y fábricas inteligentes. Este modelo no se aleja del anterior descrito, ya que podemos encontrar las 4 capas mayormente distribuidas.

En este punto cabe resaltar algunas de las características, mencionadas por Mueller *et al.* (2017), que debe tener cualquier objeto o sistema que se considere inteligente:

- Funciones integradas de localización y diagnóstico de parámetros internos.
- Capacidad de medir el rendimiento de los dispositivos físicos a partir de los datos obtenidos.
- Capacidad de procesar datos para generar información relevante.
- Capacidad de interactuar con otros objetos inteligentes y sistemas centralizados de información.
- Uso de protocolos y estándares.

Retomando los marcos de referencia encontrados en la literatura para la Industria 4.0 (Chen *et al.*, 2017), se consideran 3 capas (Figura 4) que engloban lo necesario para una fábrica inteligente, capa de recursos físicos, capa de red y capa de datos. La primera capa se refiere a todo el equipo necesario para comunicación y adquisición de información. La segunda, de los protocolos y tecnologías que permiten la comunicación entre los recursos físicos. Y la tercera, contempla el sitio de almacenamiento de los datos y la forma en que serán analizados.

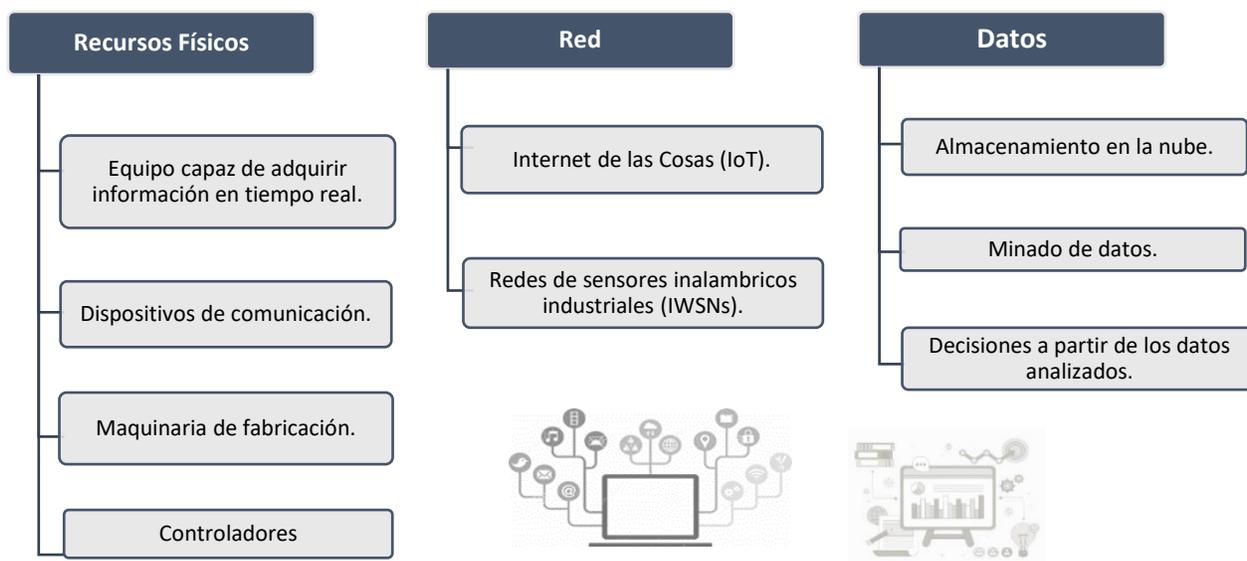


Figura 4. Las 3 capas de la Industria 4.0.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Chen *et al.*, 2017).

Se destaca que en la literatura consultada no se encontró una arquitectura homogénea que defina a la Industria 4.0. Según Mueller *et al.* (2017) la variedad de arquitecturas propuestas se debe a la gran brecha que existe entre lo teórico y lo práctico, ya que las investigaciones recientes solo se enfocan en una de las dos vertientes no permitiendo establecer una arquitectura genérica para cualquier tipo de industria. En la Figura 5, se muestra un marco general de lo relacionado con la Industria 4.0 y las tecnologías que permiten su implementación.

Principales tecnologías habilitantes de la Industria 4.0

En conjunto se puede decir que con la Industria 4.0 se busca que todos los elementos de una fábrica manufacturera sean inteligentes además de autónomos, capaces de reconfigurarse a sí mismos y tomar decisiones a partir de los datos y requerimientos que recopilen de su entorno, todo esto a través de las capacidades que ofrecen los avances tecnológicos.

En primera instancia se tiene a los sistemas ciber físicos, concepto mencionado por primera vez en la Fundación Nacional de Ciencia en Estados Unidos en 2006, que se refiere a la combinación de objetos físicos y algoritmos

computacionales desarrollados para manipular dichos objetos mejorando su desempeño (Lee, Jin, & Bagheri, 2017). Y ya que la Industria 4.0 pretende encaminar los procesos de producción a una forma sistemáticamente conectada, informada y controlada, los sistemas ciber físicos son una de sus bases principales (Ciffolilli & Muscio, 2018).

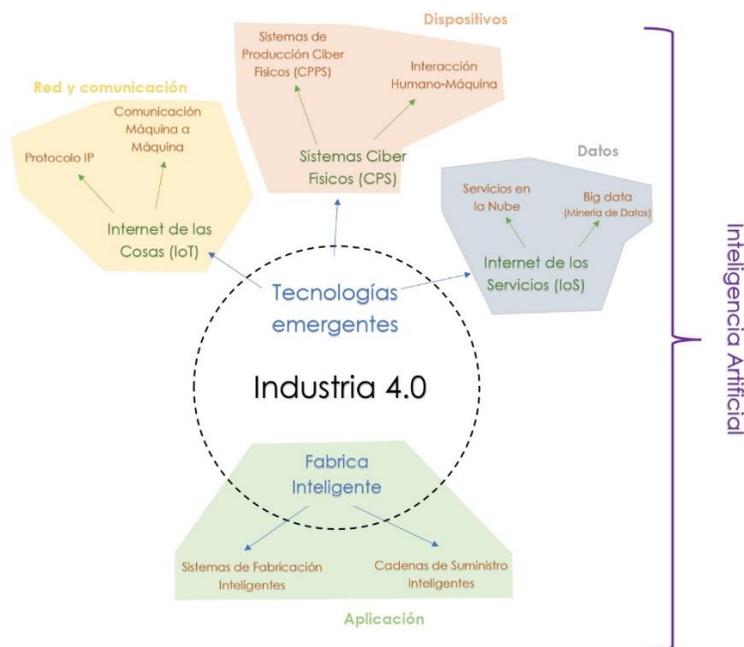


Figura 5. Marco general de la Industria 4.0.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Akash, Bath Kumar & Rana, 2016; Santos *et al.*, 2017; Mueller *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2017; X. Li *et al.*, 2017).

Shafiq, Sanin, Toro y Szczerbicki (2015) aseguran que apoyarse de sistemas ciber físicos en ambientes manufactureros traerá grandes ventajas a los procesos como máquinas inteligentes que sepan tomar decisiones para prevenir daños, que puedan repararse a sí mismas, sistemas de fabricación adaptables que se adecuen a los diseños y configuraciones dinámicas, mejora de calidad en los productos finales, entre otras.

Para entender mejor el funcionamiento de los sistemas ciber físicos, de Lee *et al.* (2017) se puede obtener la Arquitectura de las 5C, que funge como guía para el desarrollo de un CPS en un ambiente industrial, con la que también se puede visualizar la estrecha relación que guardan los CPS con el impulso de la iniciativa Industria 4.0. Las 5C se refieren en inglés a connection, conversion, cyber, cognition, configuration, explicadas más a detalle en la Figura 6.

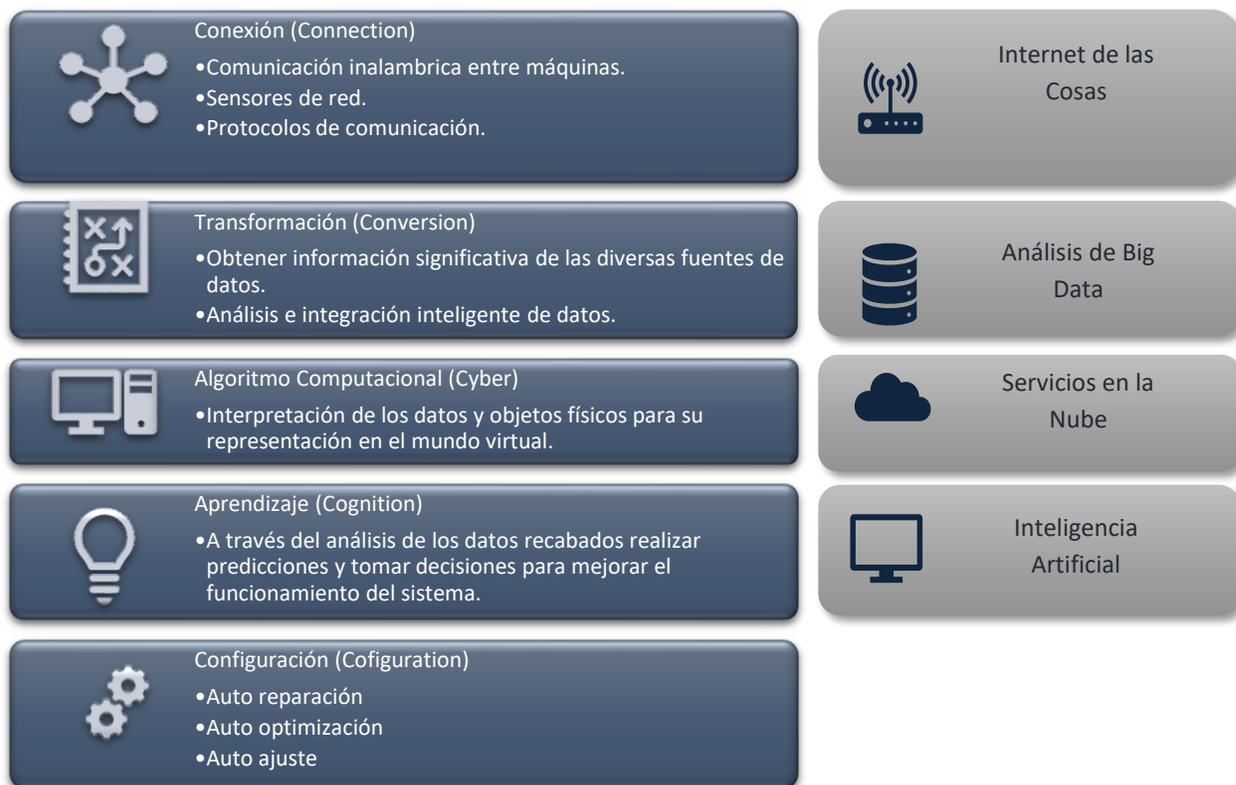


Figura 6. Arquitectura de las 5C con tecnologías emergentes relacionadas.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Lee *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que el interés por la introducción de los CPS como habilitantes cruciales de la industria 4.0 ha resultado en otras modalidades de los mismos como los Sistemas de Producción Ciber Físicos (CPPS) (Pérez *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2017), que se definen como la combinación de humanos, máquinas y productos a través de la computación y las redes para obtener procesos de producción más eficientes en costo y tiempo (Lu, 2017).

Como podemos ver en la Figura 6 y como afirma Mueller *et al.* (2017), el internet de las cosas (IoT) es la base de construcción de un CPS. El IoT es la tecnología que permite que cualquier objeto físico, con una tarjeta de red, pueda ser reconocido y conectado con los demás objetos a su alrededor y también a las bases de datos, además de que permite insertar la información de dichos objetos en el mundo virtual.

El término IoT se utiliza para hacer referencia al conjunto de tecnologías, sistemas y objetos conectados a internet, que se basan en un ambiente físico, por lo tanto cualquier arquitectura para el internet de las cosas se basa en 3 capas, la capa física, la capa de conectividad, y la capa digital (Ustundag & Cevikcan, 2018).

Enfatizando en el auge que ha tenido el IoT, se estima que para 2020 existirán alrededor de 50 billones de dispositivos conectados a internet (Preuveneers & Ilie-Zudor, 2017). Debido a esto se generó un nuevo protocolo de comunicación, ya que el actual IPv4 solo tenía espacio para 5,000 millones de direcciones IP; este nuevo protocolo IPv6, ofrece 340 sextillones de direcciones disponibles para facilitar las conexiones punto a punto y así permitir que todos los elementos de una fábrica cuenten con su propia dirección IP para estar conectados a la red (Sachon, 2017).

Por otra parte, se tiene al **Internet de los Servicios (IoS)**, que surge debido a la creencia de que los servicios son más accesibles a través de las tecnologías web y con la popularización del comercio electrónico se cree que los mercados en línea jugarán un rol crucial en las industrias del futuro (Hofmann & Rüsche, 2017). También se tiene

que los servicios ofrecidos a través de internet como las tecnologías de Big data, o los servicios en la nube, han abierto las posibilidades de globalización que busca la Industria 4.0 (Yue *et al.*, 2015; Akash, Bath Kumar & Rana, 2016).

Aquí viene a relucir otro término importante, el **Big data**, que son los grandes volúmenes de datos que vienen de diversas fuentes y necesitan ser procesados y reducidos para obtener su valor y evitar así que se saturen los canales de transmisión (Sachon, 2017). En el caso de la industria, las principales fuentes del Big data industrial son los datos del diseño de los productos, los datos operativos de las máquinas, información de logística, información del entorno externo de la industria, entre otros (Yan, Meng, Lu, & Li, 2017).

Se considera que el Big data industrial tiene 5 características principales, conocidas como las “5V” por sus iniciales en inglés, volumen (volumen), velocidad (velocity), variedad (variety), veracidad (veracity) y valor (value), las que no permiten que sea tratado con los algoritmos tradicionales de procesamiento de señales y datos (Yan *et al.*, 2017). Ustundag y Cevikcan (2018) señalan que la representación de los datos se complica cuando se tienen que manejar grandes cantidades, de ahí la imperante adopción de medidas especiales que solucionen dicha problemática.

Para el contexto de la Industria 4.0 se proponen 3 funciones que deben ser consideradas para que una infraestructura de Big data sea exitosa, (1) la adquisición e integración del Big data, (2) el almacenamiento y procesamiento del Big data, y (3) el minado del Big data (Ustundag & Cevikcan, 2018), funciones que se explican más a detalle en la Figura 7.



Figura 7. Funciones indispensables para el Big Data.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Con el minado del Big data industrial se puede obtener información como el diseño de productos defectuosos, las condiciones de la maquinaria, las deficiencias en la producción, el comportamiento y los requerimientos del consumidor, y mucha más información con la que se pueden tomar las decisiones más relevantes para la industria. Del buen análisis y aprovechamiento del Big data depende en gran parte que la empresa se pueda seguir manteniendo a la vanguardia (D. Li *et al.*, 2017; Yan *et al.*, 2017).

De la mano con el Big data viene el cómputo en la nube, ya que con ambas plataformas se puede administrar las grandes cantidades de datos en tiempo real, y el rápido flujo de extracción de datos se puede traducir en un mejor rendimiento a la hora de tomar decisiones (Ustundag & Cevikcan, 2018). En cuanto a las redes de cooperación industrial, pueden ser posibles a través de los datos que se comparten en la nube al intercambiar información con otras compañías e integrar cadenas de producción (Yue *et al.*, 2015).

Otra de las funcionalidades del cómputo en la nube, es la entrega de servicios en tiempo real, la comunicación directa con el consumidor, la eficiencia y rapidez de respuesta. Hoy en día son más las empresas que le apuestan a esta nueva plataforma, ya que al reducir los costos en adquisición de hardware o software, se pueden enfocar

en su giro de negocio, teniendo abiertas las posibilidades de escalamiento y flexibilidad a los cambios del mercado (Yue *et al.*, 2015; Sachon, 2017; Dalenogare *et al.*, 2018).

Por último, pero no menos importante está la **inteligencia artificial**. Cabe mencionar que en la literatura revisada fue el término menos mencionado. Santos *et al.* (2017) afirma que el uso de herramientas con inteligencia artificial tiene mucho que ver con el despliegue de la Industria 4.0, y viceversa, los adelantos producidos en la Industria 4.0 han tenido relación en la evolución a la fase 2.0 de la inteligencia artificial, ya que se atañen también a la introducción de las tecnologías emergentes (B. Li *et al.*, 2017).

La inteligencia artificial se relaciona con la Industria 4.0 a través de los sistemas de fabricación inteligente caracterizados por la detección inteligente de eventos, colaboración, aprendizaje, control y ejecución de máquinas y la toma de decisiones inteligente a través de la información obtenida (B. Li *et al.*, 2017). En este punto es donde convergen el resto de las tecnologías emergentes, todas con objetivos diversos, pero con uno en común, brindarle inteligencia artificial a todos los dispositivos posibles que puedan facilitar y mejorar los resultados de las tareas del ser humano.

Situación actual y retos de la Industria 4.0 en México

Para el 2016, según la Price Waterhouse Coopers (PwC, 2016) el continente americano tenía un nivel de digitalización de un 32% (Figura 8), esto deja ver que, aunque si se está trabajando de este lado del mundo en la transición a la Industria 4.0 aún falta camino por recorrer.

En el caso de México, se considera que para adoptar correctamente los retos de la Industria 4.0, la Secretaría de Economía (SE, 2018) señala 4 pilares fundamentales en los que se debe trabajar para avanzar hacia la cuarta revolución industrial, mencionados a detalle en la Figura 9

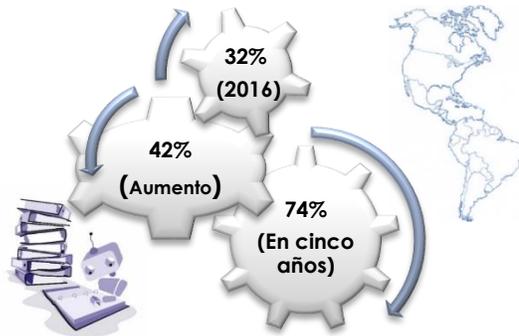


Figura 8. Nivel de Digitalización en América.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (PwC, 2016).

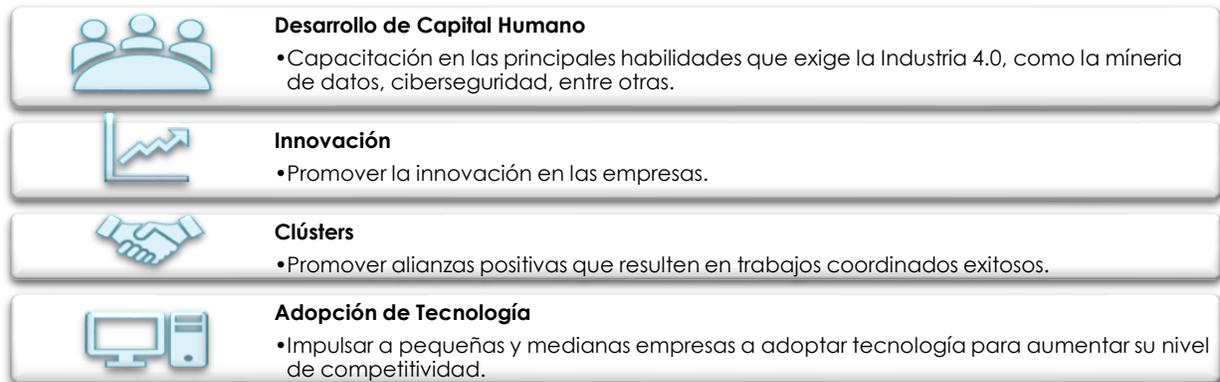


Figura 9. Pilares por desarrollar en México.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (SE, 2018).

Por su parte, la revista Forbes (Portella, 2018b) habla acerca del lento avance que está teniendo nuestro país frente a la cuarta revolución industrial atribuido al bajo costo de la mano de obra, que ha facilitado las decisiones de no inversión de las empresas en tecnología, ya que es más barato seguir pagando a los mexicanos por el trabajo manual que invertir en innovaciones tecnológicas.

Para el caso de los sectores automotriz y de electrónica, que, de acuerdo con un estudio realizado a compañías manufactureras, se consideran líderes digitales, la problemática está en contar con personal capacitado para los nuevos puestos. Situación que se propone resolver por medio de un trabajo conjunto entre las empresas y el gobierno, donde se capacite a los trabajadores que se pueden ver potencialmente afectados por las innovaciones de la Industria 4.0 (Zegarra & Pérez, 2018).

Según el estudio realizado por PwC (2016) la falta de cultura y formación educativa en las nuevas tecnologías es el principal obstáculo al que se enfrentan empresas de todo el mundo al momento de querer forma parte del paradigma Industria 4.0, como se puede apreciar en la Figura 10.



Figura 10. Obstáculos de la Industria 4.0.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Price Waterhouse Coopers, 2016)

En eventos como el 1er Primer Foro Internacional México-Alemania sobre Formación Laboral y Digitalización en la Industria 4.0 llevado a cabo en noviembre 2018 dan en cuenta que varios sectores del país tienen la iniciativa y preocupación de llevar a nuestro país al éxito con la Industria 4.0, tomando, en este caso, como eje principal a la educación (Castañeda Miranda, 2018) y la adaptación del modelo Dual, ya que con el uso de las tecnologías propuestas por este paradigma se prevé que serán sustituidos la mitad de los empleos, y las áreas con mayor crecimiento laboral serán las científicas, tecnológicas e ingenierías.

Huesca Fernández (2018) asegura que hay que apostar por la educación, centros de investigación y emprendimiento para que México combata el rezago digital, tomando como punto de comparación otros países como Pittsburg, Qatar y Alemania, donde el esquema de educación dual ha impulsado el crecimiento industrial y la innovación tecnológica.

Otra de las principales razones por las que México se está quedando atrás en la evolución digital es que las empresas no están lo suficientemente informadas de los beneficios que les puede traer la Industria 4.0 y como poder aplicarla, no más del 5% conocen acerca del tema (Portella, 2018a, 2018c). Por tanto, el objetivo del evento "La Cumbre Empresarial Américas", considerado como el primer evento a nivel continental, es abordar la importancia del uso de la tecnología y conectividad para las MiPymes y empresas en general.

Se considera vital trabajar con la digitalización de las empresas mexicanas ya establecidas. Según la International Data Corporation (Cumbre de Negocios, 2016), el 57% de las empresas mexicanas trabajan a un nivel considerable con el internet de las cosas, pero otro 41% menciona que no tiene planes futuros de digitalización, lo que deja ver que este proceso no está avanzando simultáneamente en todas las empresas del país, y las pymes son las que están quedando más rezagadas.

Durante el foro Industria 4.0: Retos para México llevado a cabo a inicios del 2018, el presidente del Consejo Coordinador Empresarial menciona que el crecimiento económico de México ha decaído desde la época de los 50. Sin embargo, la Industria 4.0 puede representar una oportunidad para México de crecer y recuperar su economía (Consejo Coordinador Empresarial, 2018).

La industria mexicana tiene varias ventajas como el bajo costo de mano de obra y la capacidad de producción a gran escala, pero eso en un futuro con la cuarta revolución industrial ya no va a ser tan conveniente. En el país, la industria manufacturera representa el 17% del PIB nacional y el 90% de las exportaciones totales, gracias a la fuerte cimentación que tienen los sectores automotrices, electrónico-tecnológico, químico y aeroespacial, aunque si no se innova en tecnología, está posición no va a durar para siempre (Expansion, 2017).

Se espera que México alcance una generalidad de digitalización en todo el país en los próximos diez años, a través de mayores inversiones en educación e investigación, ya que el aproximadamente 0.6% del PIB que se está destinando, no es suficiente, según (Consejo Coordinador Empresarial, 2018), se espera que en los próximos 5 años se aumente la inversión a 1.5%.

Siemens AG (2016) afirma que si México continua adoptando las tecnologías de la Industria 4.0 y continuando con políticas y programas como los que se muestran en la Figura 10, podría convertirse en la quinta economía más influyente del mundo, aumentando los ingresos de la industria mexicana aproximadamente tres mil quinientos millones de pesos para 2025, y también según otros estudios y encuestas se espera poder disminuir los costos de producción en un 30% (Cumbre de Negocios, 2016).



Figura 11. Programas para impulsar la Industria 4.0 en México.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Cumbre de Negocios, 2016).

De un estudio elaborado en 2018 por Deloitte y Forbes Insights, donde se entrevistó a más de 1600 altos ejecutivos en todo el mundo, de entre ellos 100 ejecutivos mexicanos se pudo inferir que la mayoría está de acuerdo en los beneficios de las nuevas tecnologías, no solo en el sector industrial. Poco más de la mitad considera que los estudiantes se están preparando acorde a las nuevas necesidades y muy pocos están preocupados por la situación política internacional, ya que de forma global la encuesta arrojó que los ejecutivos creen que las empresas tendrán mayor influencia en el futuro de la sociedad que el propio gobierno (Figura 12) (Deloitte Insights, 2018a, 2018b; Ramos, 2018).

Es de observar que no solo el gobierno está impulsando estrategias para que México adopte la industria 4.0, en casos particulares como la empresa norteamericana Bendix se tiene la construcción de un Centro de Investigación y Desarrollo e Ingeniería en Monterrey. Su principal objetivo es captar el talento proveniente de las universidades con perfiles tecnológicos afines a la producción industrial y extender su presencia en el mercado norteamericano (Manufactura, 2018a).



Figura 12. Resultados relevantes del estudio de Deloitte.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Deloitte Insights, 2018a, 2018b; Ramos, 2018).

Por otra parte, Dassault Systems, una empresa de soluciones tecnológicas se ha interesado por apoyar el impulso de las industrias automotriz y aeronáutica en México. A raíz de que dichos sectores, los mexicanos tienen un gran potencial de competencia en el mercado internacional. Se pretende que la empresa apoye la transformación digital de las industrias en aras de que sean capaces de afrontar los nuevos retos competitivos del mercado (Manufactura, 2018c).

Google por su parte, cuenta con el programa Launchpad Accelerator que tiene como objetivo apoyar a las empresas emergentes a desarrollar productos innovadores a través del uso de las tecnologías del momento. Es un taller donde los especialistas de Google se comprometen a brindar capacitación y soporte durante el desarrollo de un proyecto tecnológico para las empresas, con el que se puedan integrar competitivamente al mercado (El sol de México, 2019).

International Business Machines Corporation (IBM) se suma al apoyo de las industrias mexicanas ofreciendo facilidades de financiamiento y capacitación para la innovación a través de sus tecnologías (IBM, 2019a), brindando también asesoría para identificar las necesidades específicas del negocio y proponer las herramientas adecuadas de analítica de datos, servicios en la nube, máquinas de aprendizaje, todo esto encaminado a la revolución digital (IBM, 2019b).

Aparte de las industrias, las instituciones educativas están tomando acciones para que México no se quede rezagado, por ejemplo el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) está trabajando en conjunto con universidades chinas como Zhejiang University of Technology y Hangzhou Dianzi University para crear el Centro de Innovación México-China que persigue objetivos como que las empresas creadas dentro del ITESM obtengan un alcance global, vincular la investigación de ambos países, facilitar las moviidades de alumnos y profesores, entre otros, a fin de impulsar la inversión y el despunte tecnológico (Manufactura, 2018d).

También, en el Tecnológico de Monterrey se imparten cursos, desde 2015, con coordinadores de universidades extranjeras acerca de la Industria 4.0 (Arreola, 2018), o el programa de capacitación para ejecutivos sobre el diseño de una estrategia para alinear los recursos actuales y futuros a la revolución digital (EGADE Bussines School Tecnológico de Monterrey, 2019). Lo que más destaca es el programa educativo con el que cuenta: Ingeniero en Transformación Digital de Negocios, donde se capacita específicamente a los estudiantes para ser capaces de integrar las nuevas tecnologías en las industrias (Tecnológico de Monterrey, 2019).

Por su parte el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en alianza con la Confederación de Cámaras Industriales, se comprometió a impulsar el talento 4.0 a través de un modelo educativo de colaboración real entre industria y universidad para hacer parte de la economía a los jóvenes (González, 2018). Cómo muestra de lo anterior, el director general del IPN anunció la construcción de un Centro de Innovación en Ciudad Juárez donde se espera

ver reflejado el trabajo conjunto de gobierno, empresa y educación para el desarrollo de talento 4.0 (Manufactura, 2018b).

Casos de Éxito Internacional y Nacional

Según datos del Foro Económico mundial a través del programa Lighthouse (Cercanos, 2019; Innovadores, 2019), las siguientes empresas (Tabla 1) han logrado cambios ventajosos en sus formas de producción y resultados gracias a la implementación de las tecnologías que componen a la Industria 4.0, lo que deja ver que los beneficios no se han quedado solo en propuestas, sino que las empresas se han arriesgado a este nuevo paradigma logrando ganancias considerables.

Tabla 1. Casos de Éxito a nivel mundial.

Empresa	Implementación	Resultados
<i>Planta de Regensburg (Alemania) de BMW Group</i>	Plataforma personalizada de internet de las cosas.	<ul style="list-style-type: none"> Recortar en un 80% el tiempo de implementación de nuevas aplicaciones. Reducción de costos de logística. Reducción en 5% de problemas de calidad.
<i>Compresores comerciales de Danfoss (Tianjin, China)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de trazabilidad digital. Sensores inteligentes para inspección visual. Sistema de monitorización automático. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar un 30% el control de calidad y productividad laboral. Disminución en un 57% de las quejas de los clientes.
<i>Plata de Foxconn en Shenzhen (China)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Tecnología de Inteligencia Artificial. Monitorización en tiempo real. Automatización de producción y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de un 30% en la eficiencia de la planta.
<i>Fábrica de Rold en Cerro Maggiore (PyME, Italia)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Relojes inteligentes. Pizarras digitales. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar su proceso de facturación entre un 7% y 8%.
<i>Planta de gas de Saudi Aramco en Uthmaniyah (Arabia Saudí)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Análítica avanzada. Inteligencia artificial. Drones de inspección. Cascos digitales. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de un 90% en los tiempos de inspección de la maquinaria.

Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida de (Cercanos, 2019; Innovadores, 2019)

Por su parte en México podemos rescatar el diseño de zapatos mediante procesos digitales que se ha logrado en Guanajuato, gracias al apoyo del Centro de Innovación y Diseño de la Cámara de la Industria del Calzado de Guanajuato (Ciceg). En Manufactura (2018f) se destaca la competitividad a nivel internacional que han adquirido los zapateros mexicanos, las exportaciones nacionales aumentaron un 16.42% para el 2017 y cada par de zapatos exportados se vendió en un precio mayor a los 38 dólares.

También se tiene que, con la implementación de la tecnología Watson de IBM que se basa en la inteligencia artificial y máquinas de aprendizaje, la empresa editorial médica Para Los Médicos (PLM) se salvó de desaparecer y paso a convertirse en una empresa dedicada al manejo de información sobre salud, donde gracias al entrenamiento de la herramienta Watson Content Analytics, es capaz de ofrecer información sobre dosis y contraindicaciones de más de 35 mil medicamentos, y a raíz de eso, tan solo en 2015 PLM obtuvo más de 17 millones de consultas digitales (Osores, 2015; PLM, 2019).

En cuanto a educación, con la iniciativa Nuevo León 4.0, se ha conseguido modificar 46 planes de estudio que no incluían temas relacionados a la digitalización, y se ha capacitado a 500 ingenieros en los respectivo a las habilidades y conocimientos necesarios para la industria 4.0 (Vanguardia Industrial, 2018).

Y en el ámbito económico, las medidas que ha tomado México para abordar este nuevo paradigma lo llevaron a ser el primer país hispanohablante seleccionado como invitado de honor para la Feria Hannover 2018, la feria industrial más grande del mundo, donde más de 110 empresas mexicanas participaron. México fue el quinto país más visitado en los distintos pabellones y se logró consolidar 7 proyectos de inversión con un monto mayor a los 700 mdd (Promexico, 2018).

Cabe mencionar también que para 2018 México obtuvo el sitio 56 en el Índice Global de Innovación, conformado por 126 países. Dicho índice es realizado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), que utiliza 80 indicadores para medir el nivel de innovación de los países. Con el lugar 56, México se posiciona en el tercer lugar de América Latina, después de Chile y Costa Rica (Manufactura, 2018e).

Conclusiones

Hay muchos retos que aún faltan por abordar en cuanto a los nuevos advenimientos de la cuarta revolución industrial. En México se requiere mucha atención a las cuestiones educativas, ya que representan un gran obstáculo. Los niveles de formación académica de la población son muy bajos. Aunque se está avanzando en centros de innovación y tecnología y rediseño de planes de estudio, para obtener estas habilidades la población debe tener un mayor alcance a educación de niveles superiores. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), solo el 18% de la población tiene educación media superior, y solo el 3% más tiene educación superior, de ahí que si no se trabaja en mejorar el alcance educativo, las reformas planeadas no tendrán los resultados esperados.

Otro problema de la reforma de los planes de estudio es el análisis exhaustivo y necesario de todas las tecnologías que convergen en la Industria 4.0, con el fin que dichos planes de estudio abarquen todo lo necesario. Un aspecto fundamental es el equipamiento e infraestructura requerida para la enseñanza y entrenamiento sobre sistemas digitales. Si no se sustentan bien estos centros de enseñanza de nada servirán las modificaciones parciales que sigan dejando cortos de habilidades digitales a los futuros profesionistas.

De igual manera se está trabajando en la capacitación de la fuerza laboral actual. Con la implementación de sistemas ciber físicos, se perderán muchos empleos, y a la vez, habrá varias plazas por llenar para las que seguramente no habrá suficientes capacitados, sin embargo, la proporción de empleos perdidos será superior generando inestabilidad social.

Se menciona que con las nuevas tecnologías, ya no se necesitará ser expertos profesionales en un área, sino ser capaces de resolver problemas a través de conocimientos variados y uso inteligente del internet (Cortés, 2016; Sachon, 2017). Los programas de apoyo del gobierno son importantes para trabajar de cerca con las empresas que no tienen el conocimiento adecuado para abordar la iniciativa en materia laboral.

Por otro lado, la sustentabilidad de la Industria 4.0 se ve un tanto comprometida. Se espera que, con la monitorización inteligente de la producción, se reduzcan los gases contaminantes que generan los mismos, aunque, el mismo uso de las tecnologías provoca contaminación. Por ejemplo, para hacer posible el cómputo en la nube o el internet de las cosas se necesitan enormes centros de datos que requieren gran cantidad de refrigeración y aire acondicionado. Según datos de Gartner la industria de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) genera el 2% a nivel mundial en emisiones de CO₂ y huella de carbón (Ramírez, 2016). Aún falta profundizar más en el conocimiento y control de los impactos negativos.

En todo el mundo se esperan grandes beneficios de la Industria 4.0. Los países más desarrollados son los que están tomando el liderazgo, los menos desarrollados aún no están conscientes de las ventajas que la digitalización podría traerles, probablemente porque la tecnología no está entre sus prioridades, o no la han necesitado. Sin embargo, la revolución avanza y sí uno de los objetivos son las redes de cooperación global se debe buscar un desarrollo tecnológico equitativo.

Es importante en nuestro país evitar el rezago digital principalmente de las pequeñas y medianas empresas, que componen una gran parte del parque empresarial, ya que del desarrollo digital equitativo depende que México pueda aprovechar esta nueva revolución industrial para despuntar la economía del país. Aunque también es importante mencionar que no todas las empresas por condiciones económicas, sociales o de giro son aptas para adoptar la nueva revolución.

El proceso de incorporación a este nuevo enfoque apenas inicia, lo más pertinente sería que de la Industria 4.0, una iniciativa lanzada por un país industrializado se adaptara solamente lo necesario para el beneficio económico, cultural y ambiental de México de acuerdo con sus condiciones particulares. Quedarían como futuras líneas de investigación el análisis de los aspectos que se pueden aprovechar de la cuarta revolución industrial para maximizar el impacto positivo en el país y así minimizar las consecuencias negativas.

Referencias

- Akash, Bath Kumar, M., & Rana, P. (2016). *Industrie 4.0: An Overview*. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 3(3), 535–541. <https://doi.org/2348-4470>
- Arreola, M. (2018). *Industria 4.0 forma parte de su plan de estudios*. Recuperado de: <https://tec.mx/es/noticias/nacional/educacion/industria-40-forma-parte-de-su-plan-de-estudios-fotogaleria>
- Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S., & Vocke, C. (2015). *Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an “Industry 4.0.”* *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.200>
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*, 8(1), 37–44.
- Castañeda Miranda, R. (2018). *Industria 4.0 y modelo dual, retos y oportunidades*. Recuperado de: <https://www.elsoldezacatecas.com.mx/analisis/industria-4.0-y-modelo-dual-retos-y-oportunidades-2646211.html>
- Cercanos. (2019). *Foro Económico Mundial amplió su red de industrias alineadas con la Industria 4.0*. Recuperado de: <https://www.cercanos.net/noticias/2019/1/14/foro-econmico-mundial-ampli-su-red-de-industrias-alineadas-con-la-industria-40>
- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2017). *Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges*. *IEEE Access*, 6, 6505–6519. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>
- Ciffolilli, A., & Muscio, A. (2018). *Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies*. *European Planning Studies*, 4313. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1529145>
- Consejo Coordinador Empresarial. (2018). *Retos para México: Industria 4.0*. Recuperado de: <http://www.cce.org.mx/retos-para-mexico-industria-4-0/>
- Cortés, R. (2016). *La Cuarta Revolución Industrial, un relato desde el materialismo cultural The fourth cultural revolution, a tale through cultural materialism*. *Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales*, 6(2), 101–111. Recuperado de: <https://lasindias.com/indianopedia/economia-directa>.
- Cumbre de Negocios. (2016). *La industria 4.0 ha llegado para quedarse*. Recuperado de: <https://www.cumbredenegocios.com.mx/newsletter5/4.html>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). *The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance*. *International Journal of Production Economics*, 204(July), 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Deloitte Insights. (2018a). *La cuarta revolución industrial ya está aquí ¿Están preparados los ejecutivos en México?* Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/about-deloitte/articles/cuarta-revolucion-industrial-mx.html>
- Deloitte Insights. (2018b). *Success personified in the Fourth Industrial Revolution*. Recuperado de: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/gx-davos-DI_Success-personified-fourth-industrial-revolution.pdf

- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- EGADE Bussines School Tecnológico de Monterrey. (2019). Manejando la Transformación Digital. Recuperado de: <https://egade.csf.itesm.mx/sites/EGADExEd-Transformacion-Digital.html>
- El sol de México. (2019). Así es como Google apoyará a las Startups mexicanas. Recuperado de: <https://www.elsoldemexico.com.mx/finanzas/tecnologia/asi-es-como-google-apoyara-a-las-startups-mexicanas-3079454.html>
- European Commission. (2017). Digital Transformation Monitor. Germany: Industrie 4.0, (January), 8. <https://doi.org/10.3182/20100712-3-FR-2020.00083>
- Expansion. (2017). La industria 4.0, la revolución que la manufactura mexicana necesita. Recuperado de: <https://expansion.mx/opinion/2017/06/02/opinion-la-industria-40-la-revolucion-que-la-manufactura-mexicana-necesita>
- FMEAE & FMER. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy; Federal Ministry of Education and Research. (2019). The background to Plattform Industrie 4.0. Recuperado de: <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/ThePlattform/PlattformIndustrie40/plattform-industrie-40.html>
- González, L. (2018). IPN y Concamin se comprometen a desarrollar talento 4.0. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/IPN-y-Concamin-se-comprometen-a-desarrollar-talento-4.0-20180808-0054.html>
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Huesca Fernández, E. (2018). Revolución 4.0 en México. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Revolucion-4.0-en-Mexico-20180812-0094.html>
- Innovadores. (2019). Estas son las mejores plantas 4.0 de este año, según el Foro Económico Mundial. Recuperado de: <https://innovadores.larazon.es/es/not/estas-son-las-mejores-fabricas-40-de-2019-segun-el-foro-economico-mundial>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Características educativas de la población. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/educacion/>
- IBM. International Business Machines Corporation. (2019a). Financiamos posibilidades. Recuperado de: <https://www.ibm.com/financing/es-es/index.html>
- IBM. International Business Machines Corporation. (2019b). Más allá de la Industria 4.0. Recuperado de: <https://www.ibm.com/internet-of-things/es-es/iot-solutions/iot-manufacturing/>
- ITU. International Telecommunication Union. (2018). Informe sobre la medición de la sociedad de la información 2018. Recuperado de: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2018/MISR2018-ES-PDF-S.pdf>
- Lee, J., Jin, C., & Bagheri, B. (2017). Cyber physical systems for predictive production systems. *Production Engineering*, 11(2), 155–165. <https://doi.org/10.1007/s11740-017-0729-4>
- Li, B., Hou, B., Yu, W., Lu, X., & Yang, C. (2017). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(1), 86–96. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601885>
- Li, D., Tang, H., Wang, S., & Liu, C. (2017). A big data enabled load-balancing control for smart manufacturing of Industry 4.0. *Cluster Computing*, 20(2), 1855–1864. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-0852-1>
- Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A. V., Lai, C. F., & Wang, S. (2017). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Networks*, 23(1), 23–41. <https://doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Manufactura. (2018a). Bendix avanza con la edificación de un Centro de Ingeniería en Monterrey. Recuperado de: <https://manufactura.mx/automotriz/2018/03/06/bendix-sigue-adelante-con-la-edificacion-de-un-centro-de-ingenieria-en-monterrey>

- Manufactura. (2018b). Concamin y el IPN acuerdan formar una alianza. Recuperado de: <https://manufactura.mx/industria/2018/08/08/concamin-y-el-ipn-acuerdan-formar-una-alianza>
- Manufactura. (2018c). Dassault Systemes impulsa en NL las industrias automotriz y aeronáutica. Recuperado de: <https://manufactura.mx/industria/2018/10/25/dassault-systemes-impulsa-en-nl-las-industrias-automotriz-y-aeronautica>
- Manufactura. (2018d). ITESM impulsa la creación de un Centro de Innovación México-China. Recuperado de: <https://manufactura.mx/industria/2018/06/20/itesm-impulsa-la-creacion-de-un-centro-de-innovacion-mexico-china>
- Manufactura. (2018e). México sube dos posiciones en el Índice Global de Innovación. Recuperado de: <https://manufactura.mx/industria/2018/07/11/mexico-sube-dos-posiciones-en-el-indice-global-de-innovacion>
- Manufactura. (2018f). México ya diseña zapatos bajo procesos digitales. Recuperado de: <https://manufactura.mx/industria/2018/08/31/mexico-ya-disena-zapatos-bajo-procesos-digitales>
- Mueller, E., Chen, X. L., & Riedel, R. (2017). Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 30(5), 1050–1057. <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0164-7>
- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/su10010247>
- Osores, M. (2015). Lanza IBM unidad Watson en México para promover negocios cognitivos. Recuperado de: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/cronica/Lanza-IBM-unidad-Watson-en-Mexico-para-promover-negocios-cognitivos>
- PLM. Para Los Médicos. (2019). ¿Quiénes Somos? Recuperado de: <http://www.medicamentosplm.com/Home/AboutUs/64>
- Pérez, F., Irisarri, E., Orive, D., Marcos, M., & Estevez, E. (2015). A CPPS Architecture approach for Industry 4.0. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2015–Octob*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2015.7301606>
- Portella, A. (2018a). Empresarias buscan que mujeres lideren la industria 4.0. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/empresarias-buscan-que-mujeres-lideren-la-industria-4-0/>
- Portella, A. (2018b). Industria 4.0, una revolución que se retrasa en México. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/industria-4-0-una-revolucion-que-se-retrasa-en-mexico/>
- Portella, A. (2018c). México no tiene rezago, sino ignorancia hacia la revolución industrial 4.0. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/mexico-no-tiene-rezago-sino-ignorancia-hacia-la-revolucion-industrial-4-0/>
- Preuveneers, D., & Ilie-Zudor, E. (2017). The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(3), 287–298. <https://doi.org/10.3233/AIS-170432>
- PwC. Price Waterhouse Coopers. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. Web, 1–36. <https://doi.org/10.1080/01969722.2015.1007734>
- Promexico. (2018). México cierra 700 mdd de negocios en la feria Hannover 2018. Recuperado de: <https://www.gob.mx/promexico/prensa/mexico-cierra-700-mdd-de-negocios-en-la-feria-hannover-2018>
- Ramírez, A. (2016). Data Centers contaminan más que todo el parque vehicular. Recuperado de: <https://www.the-emag.com/theitmag/blog/2016/05/05/data-centers-contaminan-mas-que-todo-el-parque-vehicular>
- Ramos, D. (2018). A fondo. Industria 4.0: digitalización, eficiencia y flexibilidad. Recuperado de: <https://www.silicon.es/fondo-industria-4-0-digitalizacion-eficiencia-flexibilidad-2373286>
- Sachon, M. (2017). Los cinco puntales de la cadena de valor en la industria 4.0. *IESE Insight*, (33), 15–23. <https://doi.org/10.15581/002.ART-3012.Los>

- Santos, K., Loures, E., Piechnicki, F., & Canciglieri, O. (2017). Opportunities Assessment of Product Development Process in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1358–1365. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.265>
- SE. Secretaría de Economía. (2018). El desarrollo de la Industria 4.0 en México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/se/articulos/el-desarrollo-de-la-industria-4-0-en-mexico?idiom=es>
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Toro, C., & Szczerbicki, E. (2015). Virtual engineering object (VEO): Toward experience-based design and manufacturing for industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 46(1–2), 35–50. <https://doi.org/10.1080/01969722.2015.1007734>
- Siemens AG. (2016). Digitalización hará de México la quinta economía del mundo: Siemens. Recuperado de: https://w5.siemens.com/cms/mam/press/Documents/2016/2211_SIEMENS_Digitalizaci%C3%B3n_Enterprise_Tour.pdf
- Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, Global Value Chains and International Business. *Multinational Business Review*, 0–14.
- Tecnológico de Monterrey. (2019). Ingeniero en Transformación Digital de Negocios. Recuperado de: <https://admission.itesm.mx/es/ingenieria-computacion/itd>
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- Vanguardia Industrial. (2018). Metalsa se transforma por disrupción. Recuperado de: <https://www.vanguardia-industrial.net/metalsa-se-transforma-por-disrupcion/>
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>
- Yan, J., Meng, Y., Lu, L., & Li, L. (2017). Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance. *IEEE Access*, 5, 23484–23491. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2765544>
- Yue, X., Cai, H., Yan, H., Zou, C., & Zhou, K. (2015). Cloud-assisted industrial cyber-physical systems: An insight. *Microprocessors and Microsystems*, 39(8), 1262–1270. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2015.08.013>
- Zegarra, C., & Pérez, M. (2018). Industria 4.0: oportunidades y retos en México. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/industria-4-0-oportunidades-y-retos-en-mexico/>

Este artículo puede citarse de la siguiente forma:

Citación estilo APA sexta edición

Mejía Huidobro, M.A., Camacho Vera, A.D. & Marcelino Aranda, M. (enero-junio de 2020). Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, 6(1), 13-31.

Citación estilo Chicago decimoquinta edición

Mejía-Huidobro, Miriam Angélica, Camacho-Vera, Alejandro D. & Marcelino-Aranda, Mariana. Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, 6 No. 1 (enero-junio de 2020): 13-31.

Citación estilo Harvard Anglia

Mejía Huidobro, M.A., Camacho Vera, A.D. & Marcelino Aranda, M., 2020. Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, enero-junio, 6(1), pp. 13-31.

Citación estilo IEEE

[1] M.A. Mejía-Huidobro, A.D. Camacho-Vera & M. Marcelino-Aranda. Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, vol. 6 No. 1, pp. 13-31, enero-junio de 2020.