Conciencia Tecnológica
ISSN: 1405-5597
contec@mail.ita.mx
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras

Ynzunza Cortés, Carmen Berenice; Izar Landeta, Juan Manuel; Bocarando Chacón, Jacqueline Guadalupe; Aguilar Pereyra, Felipe; Larios Osorio, Martín

El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras
Conciencia Tecnológica, núm. 54, 2017
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México
Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras

Implications and Perspectives of Industry 4.0.

Carmen Berenice Ynzunza Cortés
Universidad Tecnológica de Querétaro, México
bynzunza@uteq.edu.mx

Juan Manuel Izar Landeta
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Jacqueline Guadalupe Bocarando Chacón
Universidad Tecnológica de Querétaro, México

Felipe Aguilar Pereyra
Universidad Tecnológica de Querétaro, México

Martín Larios Osorio
Universidad Tecnológica de Querétaro, México

Redalyc: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006

Recepción: 20 Octubre 2017
Aprobación: 26 Noviembre 2017

Resumen:

En el entorno actual de competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, las empresas, sobretodo de manufactura, se ven forzadas a reconfigurar sus procesos. La industria 4.0 y la manufactura inteligente son parte de una transformación, en la que las tecnologías de fabricación y de la información se han integrado para crear innovadores sistemas de manufactura, gestión y formas de hacer negocios, que permiten optimizar los procesos de fabricación, alcanzar una mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor para sus clientes, así como responder de forma oportuna a las necesidades de su mercado. Por lo que el interés de este artículo es explorar este entorno tecnológico, así como sus implicaciones y perspectivas futuras. Para lo cual, se hizo una búsqueda de literatura en bases de datos reconocidas como la Web, Web of Science and Google Scholar con el fin de analizar los hallazgos de investigaciones previas. Los principales resultados fueron la identificación de los componentes tecnológicos; su conceptualización y la determinación de las perspectivas e implicaciones futuras, así como las iniciativas realizadas en México sobre Industria 4.0. Como conclusiones se señalan la importancia de transitar hacia la adopción de estas tecnologías para la competitividad de las PyMES y la necesidad de recurso humano especializado para su desarrollo e implementación.

Palabras clave: Manufactura Digital, Manufactura Inteligente, Industria 4.0.

Abstract:

In today's environment of global competition, technological development and innovation; companies, especially manufacturing, are forced to reconfigure their manufacturing and management processes. Industry 4.0 and intelligent manufacturing are part of a transformation, in which manufacturing and information technologies have been integrated to create innovative systems of manufacturing, management and ways of doing business, which allow to optimize manufacturing, to achieve greater flexibility, efficient production processes and generate a value added proposal for their customers, as well as to provide a timely response to their market needs. Thus, the interest of this article is to explore the technological environment of Industry 4.0 as well as their implications and future perspectives. For that, a literature search was made in recognized databases such as the Web, Web of Science and Google Scholar in order to analyze the findings of previous research. The main results reached were the identification of technological components; its conceptualization and the determination of future perspectives and implications, and also the initiatives carried out in Mexico related to Industry 4.0. We concluded the paper by pointing out the importance of transitioning towards the adoption and implementation of these technologies for the competitiveness of SME's as well as highlighting the need for the development of specialized human resources.

Keywords: Digital Manufacturing, Intelligent Manufacturing, Industry 4.0.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Introducción

A lo largo de la historia, el desarrollo tecnológico ha tenido un impacto importante en los sistemas de manufactura, primero con la máquina de vapor y la mecanización de los procesos, luego con la producción en masa, la automatización y robótica; y más recientemente, con la que ha sido llamada "industria 4.0" y es considerada ya como la "Cuarta Revolución Industrial", debido a su potencial y beneficios relacionados con la integración, innovación y autonomía de los procesos.

Los conceptos de industria 4.0 y manufactura inteligente, son relativamente nuevos y contemplan la introducción de las tecnologías digitales en la industria de la fabricación. Es decir, la incorporación al ambiente de manufactura de tecnologías como el internet de las cosas, cómputo móvil, la nube, el big data, redes de sensores inalámbricos, sistemas embebidos y dispositivos móviles, entre otros [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Algunas de estas tecnologías, ya han sido utilizadas por años, pero de forma aislada; sin embargo, su integración y posibles capacidades, es lo que las potencializa para transformar la industria de la manufactura, con procesos productivos totalmente integrados, automatizados y optimizados; y con resultados significativos en el mejoramiento de la eficiencia operativa y el desempeño organizacional [9]. El impacto de esta transformación tecnológica es tal, que está incidiendo en todos los aspectos de la organización, desde la producción y organización hasta la investigación y desarrollo, así también en el control de los inventarios, la gestión y el soporte al cliente, etc. [10]. Igualmente, está cambiando la visión y actuación empresarial. Su impacto ha sido tal, que la industria 4.0, ya es considerada como un proceso de innovación sistémico que redefine los modelos de negocio y provee una perspectiva global totalmente integrada del entorno y la organización [11].

De ahí, que en muchos países del mundo, se estén realizando esfuerzos a nivel de política gubernamental estratégica para difundir las tecnologías y los beneficios que la incorporación de la industria 4.0 y la manufactura inteligente traería a las empresas, especialmente PyMEs, al igual que para su implementación, y como una estrategia nacional para desarrollar ventajas competitivas.

Sin embargo, aún y cuando, la industria 4.0 y la manufactura inteligente están teniendo resultados importantes; y, se sabe afectará a todo tipo de empresas y su adopción temprana es una oportunidad para hacer negocios, muchos empresarios han optado por esperar, sin considerar el riesgo que un proceso de adopción tardía o el no hacerlo representa para sus empresas [12], debido al desconocimiento que existe aún en torno a la industria 4.0 y la manufactura inteligente y a que todavía no es claro para ellos, cuáles son los factores que influencian su uso; además de que no existe aún información suficiente sobre su potencial [13], si bien ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años, lo que de algún modo permite anticipar que en el corto plazo la industria 4.0 y sus tecnologías, sustituirán a las tecnologías convencionales [13, 14].

Así, el objetivo de este trabajo es explorar el "Entorno de la industria 4.0 y la manufactura inteligente: Sus beneficios, implicaciones y perspectivas futuras". Igualmente, difundir cómo éstas y sus tecnologías asociadas pueden contribuir a transformar las empresas productivas, sobre todo las PyMEs del país y sensibilizar a los empresarios sobre la importancia de transitar hacia la industria 4.0 para la competitividad, y supervivencia de sus empresas. De igual forma, para su incorporación a cadenas de proveeduría globales y el acceso a nuevas oportunidades de negocio. Para lo cual, se hace una revisión del marco conceptual sobre el que yacen las mismas y se exponen algunas consideraciones al respecto. Con base en ello, las preguntas de investigación planteadas son: ¿Qué es la industria 4.0 y la manufactura inteligente? ¿Cuáles son las tecnologías asociadas a la industria 4.0 y la manufactura inteligente? Y, ¿Qué beneficios, implicaciones y perspectivas futuras pueden esperarse de la industria 4.0 y la manufactura inteligente?

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Fundamentos Teóricos

Industria 4.0 y Manufactura Inteligente

El concepto de industria 4.0, surge en Alemania en 2011, para hacer referencia a una política económica gubernamental basada en estrategias de alta tecnología [15]; caracterizada por la automatización, la digitalización de los procesos y el uso de las tecnologías de la electrónica y de la información en la manufactura [16]. Igualmente, por la personalización de la producción, la prestación de servicios y la creación de negocios de valor agregado. Y, por las capacidades de interacción y el intercambio de información entre humanos y máquinas [14, 17].

La Industria 4.0 está sustentada en el desarrollo de sistemas, el internet de las cosas (IoT) y el internet de la gente y de los servicios [17, 18, 19]; aunado a otras tecnologías como la fabricación aditiva, la impresión 3D, la ingeniería inversa [16], el big data y la analítica, la inteligencia artificial, etc., las que al trabajar de forma conjunta, están generado cambios trascendentales no sólo en la industria de la manufactura sino también en el comportamiento del consumidor y en la manera de hacer negocios. Y, al mismo tiempo, favorecen la construcción de capacidades que permiten a las empresas adaptarse a los cambios del mercado [18]. Ver Tabla 1.

La conceptualización que existe sobre industria 4.0 es reciente, sin embargo, ha sido definida como una maquinaría física y dispositivos con sensores y software que trabajan en red y permiten predecir, controlar y planear mejor los negocios y los resultados organizacionales [19]. También, como un término asociado con las tecnologías y los conceptos de la cadena de valor de la organización [20, 21], el cual describe una producción orientada a los sistemas ciberfísicos (CPS); sistemas con capacidades físicas y de cómputo que pueden interactuar con humanos, que integran las instalaciones de producción, los sistemas de almacenamiento y logística, así como el establecimiento de redes de trabajo para la creación de valor [22, 23, 24]. La industria 4.0 representa un enfoque a la innovación de nuevos productos y procesos, a través de fábricas inteligentes, totalmente integradas en redes de trabajo (a lo largo de la cadena de valor) que propician nuevas formas de colaboración e infraestructuras sociales [20]. No obstante que está todavía en proceso de desarrollo, sus bondades permiten anticipar grandes cambios, ya que se le asocia con la digitalización de los sistemas de información y producción para las actividades de gestión; los sistemas de automatización para la adquisición de datos de las máquinas y líneas de producción; con el intercambio de información para el monitoreo y control de los procesos y la toma de decisiones en tiempo real [25, 26], por mencionar algunos.

En este mismo orden de ideas, la manufactura inteligente es considerada como la habilidad de representar digitalmente cada aspecto de la manufactura, desde el diseño hasta el proceso de fabricación – haciendo uso de herramientas de software como el de diseño y manufactura asistida por computadora (CAD/CAM), los sistemas para la gestión del ciclo de vida de los productos (PLM) y el uso de software de análisis, simulación y gestión, etc. [26]. Este tipo de manufactura enfatiza el empleo de métodos digitales para la planeación y validación de todas las etapas de fabricación, desde el desarrollo del producto hasta la planeación de la producción y las instalaciones [27]; para lo cual, se apoya en un conjunto de tecnologías que no sólo facilitan la validación previa de los productos y procesos de manufactura, sino que además permiten reducir los tiempos de desarrollo de nuevos productos, los costos de fabricación y los lotes de manufactura [28]. Es decir, flexibilizan la manufactura, mejoran la calidad del producto y aceleran los tiempos de respuesta al mercado [26, 27].

Desde esta óptica, los cambios que se están dando en la manufactura son producto de las tecnologías que se están desarrollando para: 1) La digitalización de la producción, 2) La automatización, 3) La integración de capacidades (a través de sistemas ciberfísicos) 4) Y para la manufactura como la impresión 3D, la ingeniería inversa, el maquinado inteligente, etc. [25, 29].

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Por lo que, en este contexto, la industria 4.0 es un nuevo nivel de organización de la cadena de valor y gestión [30], que es probable cambie la forma en que operan los procesos, la cadena de suministro y los modelos de negocio [31], razón por la cual, muchas empresas están evaluando los conceptos y aplicaciones sintetizadas bajo el término Industria 4.0 para desarrollar sus propias estrategias de negocio [16], que bajo esta nueva disrupción industrial, está cimentada en algunos principios básicos como la interoperabilidad, virtualización, descentralización, capacidades en tiempo real, orientación al servicio, etc., [32] y donde existen, por ejemplo, fábricas inteligentes capaces de crear copias virtuales del mundo físico, monitorear los procesos físicos, auto-gestionarse, optimizarse y tomar decisiones de forma autónoma en tiempo real [21].

Tecnologías asociadas a Industria 4.0 y la Manufactura Inteligente

Dentro de las tecnologías que sustentan la industria 4.0 y la manufactura inteligente, se refieren la simulación, fabricación aditiva, los sistemas de integración horizontal y vertical, la ciberseguridad, la realidad aumentada, el cómputo en la nube, los robots autónomos, el internet industrial de las cosas y el big data y la analítica avanzada [33]. También, las tecnologías sociales, los sistemas ciberfísicos y de colaboración abierta [12, 34]; los dispositivos móviles (tabletas, teléfonos), las plataformas y aplicaciones tecnológicas, así como, la inteligencia artificial y las tecnologías de la información [10]. Ver Tabla 1.

Aunque no existe un consenso al respecto, el internet de las cosas (IoT), el cómputo móvil, el cómputo en la nube y el big data y la analítica avanzada parecen ser los pilares tecnológicos más importantes en la industria 4.0, dado que de estas tecnologías, depende: 1) La escalabilidad de la capacidad de cómputo, 2) El procesamiento y análisis de datos, 3) La accesibilidad global de los servicios vía internet u otros dispositivos móviles y 4) La creación de nuevos procesos, productos y modelos de negocio [8, 14, 16, 35, 36, 37].

A través del internet de las cosas, los sistemas pueden interactuar entré sí y con los humanos en tiempo real. El internet de los servicios (IoS) es el medio mediante el cual es posible ofertar y acceder a éstos [21]. Mientras que, el big data, el cómputo en la nube y la inteligencia artificial son facilitadores de la Industria 4.0 y junto con la automatización industrial están cambiando la forma en la que los productos se fabrican; contribuyen al mejoramiento de la manufactura [18, 21, 39, 40] y a que las empresas cuenten con procesos totalmente automatizados e interconectados, que faciliten el flujo de información, la descentralización de la manufactura, la creación de nuevos procesos, la toma de decisiones y un enfoque al desarrollo de competencias que agreguen valor a las organizaciones [40, 41] de forma tal, que se genere no solo mayor innovación de productos y procesos; sino también fábricas inteligentes y otros modelos de negocio [18]. Y al mismo tiempo, se mejore la cadena de suministro; estrategia clave para incrementar la posición competitiva y la rentabilidad de las organizaciones.

De ahí, que la integración de todas las actividades de la empresa junto con aquellos que interactúan en la cadena de suministro, proveedores, clientes y socios, dentro de amplias redes de trabajo, sea una actividad medular en las organizaciones, y, la tecnología sea el mejor medio para diseñar, crear e implementar tales ambientes [27, 42] que faciliten el intercambio de información, productos y servicios [43], el aprovechamiento de las oportunidades y la creación de ventajas competitivas [44, 45].

En consecuencia, las empresas están transitando hacia arquitecturas tecnológicas que les permitan alcanzar mayores niveles de integración. Por ejemplo, para optimizar la logística y eficiencia de su cadena de suministro [18, 46] y asegurar la trazabilidad del producto [47] en menor tiempo y costo. De igual modo, para mejorar su adaptabilidad al mercado, el uso de los recursos y los procesos de demanda y suministro. Estas arquitecturas forman parte de los productos, máquinas, fábricas, servicios e incluso, ciudades inteligentes características de la industria 4.0 [48].

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Perspectivas de la Industria 4.0

La Industria 4.0, hace referencia a tecnologías y conceptos de la organización de la cadena de valor en fábricas inteligentes, que cuentan en su estructura con sistemas ciberfísicos (CPS) capaces de monitorear los procesos físicos, crear una copia virtual del mundo real y hacer decisiones descentralizadas. Por lo cual, se espera que los CPS brinden soluciones que permitan transformar la operación y el papel de muchos de los sistemas industriales existentes [48].

En la visión de la industria 4.0, las máquinas serán capaces de comunicarse entre sí para recibir o transmitir información y ejecutar acciones; los productos serán inteligentes [48], ya que con el IoT, muchos sensores en red podrán estar embebidos en dispositivos y máquinas y desplegarán enormes cantidades de datos de diferentes tipos, y el cómputo en la nube proveerá las soluciones para el almacenamiento y procesamiento de estos grandes volúmenes de datos [7].

No obstante, esta gran cantidad de datos, generados de forma masiva, requerirá también sensores con otro tipo de tecnología y mayores capacidades [13], por ejemplo, para el procesamiento inteligente de señales, comunicarse en red y solucionar de forma remota tareas complejas. Igualmente, se necesitarán soluciones más inteligentes para su manejo y organización; a la par de plataformas tecnológicas y protocolos de comunicación que garanticen el flujo, procesamiento y seguridad de la información [49].

Por consiguiente, el IoT y la industria 4.0 incidirán también en la forma en la que interactúan los clientes, proveedores y mayoristas, etc., quienes podrán tener una mayor participación en el proceso y las decisiones acerca de la manufactura, calidad y personalización de los productos; considerando por supuesto para ello, los desafíos de ciberseguridad implicados que garanticen el contar con una estructura sólida de intercambio de información y colaboración [50]. Así también, se necesitarán nuevos requerimientos para la comunicación inalámbrica, el cómputo móvil y en la nube, por mencionar algunos, los cuales impactarán en el diseño, desarrollo y despliegue de redes de trabajo para aplicaciones emergentes, por ejemplo; y propiciarán también la creación de otros tipos de sistemas ciberfísicos, con mayores capacidades, más conscientes del entorno y asistidos en la nube [51]. Finalmente, la fabricación en la nube seguirá siendo el nuevo paradigma de la manufactura y modelo de negocio, el cual favorecerá una manufactura orientada al servicio, altamente colaborativa, intensiva en conocimientos y sustentable [52].

Materiales y métodos

Para contextualizar el objeto de estudio y tener una valoración crítica de investigaciones previas, así como contrastar los hallazgos y enfoques metodológicos utilizados, se seleccionó como técnica exploratoria y analítica para la recolección de información la revisión sistémica de literatura.

Para llevar a cabo la misma, se siguió el enfoque de dos estados de aproximación, el cual se basa en identificar la investigación más relevante y rigurosa almacenada en bases de datos reconocidas para garantizar la calidad y veracidad de información utilizada [53]. En un primer momento, se buscaron artículos relacionados con la industria 4.0 publicados en la Web, Web of Science and Google Scholar; posteriormente, se procedió a hacer una revisión de su contenido, seleccionar aquellos relacionados y se clasificaron los mismos en cuatro categorías: 1) Industria 4.0 y manufactura inteligente, 2) Tecnologías asociadas a la industria 4.0, 3) Sistemas ciberfísicos e 4) Integración de las cadenas de suministro. También, se buscó sustentar teóricamente los componentes tecnológicos principales asociados con la industria 4.0 y la manufactura inteligente.

De los 98 artículos revisados, se seleccionaron 83, el 73.8% de éstos se generaron del 2012 al 2017, teniendo su mayor auge en el periodo comprendido del 2014 al 2016. También, se encontró que el número de citas que hacen referencia a los temas estudiados se ha incrementado notablemente a partir estas fechas, alcanzando cada día mayores niveles de citación (10,979 al mes de octubre de 2017), lo que es un referente del interés

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

que existe en su estudio y aplicación. Una vez clasificada la literatura revisada, se elaboró una matriz donde se fueron registrando los componentes y tecnologías señalados. Esta etapa de agrupación de información permitió precisar hacia donde se ha enfocado la investigación de la mayor parte de los artículos publicados, e igual aporta evidencia suficiente de cómo se ha ido incrementando el número de publicaciones y aplicaciones relacionadas a la industria 4.0.

Toda vez que se estructuró la información, se procedió a mapear y conceptualizar los componentes y las tecnologías implícitas con el fin de exhibir cómo están fortaleciéndose los fundamentos teóricos en los que descansa la industria 4.0 y la manufactura inteligente. Posteriormente, con base en las referencias citadas se determinó la arquitectura tecnológica y de soporte que integran la industria 4.0, al igual que los beneficios esperados y sus perspectivas futuras. A partir de este análisis, se establecieron algunas de las implicaciones que se espera tenga esta iniciativa tecnológica en la industria, los negocios y el empleo. Finalmente, se realizó una búsqueda en la Web sobre las iniciativas para industria 4.0 implementadas en México y los resultados alcanzados.

Resultados

Con relación a los 83 artículos revisados asociados con la industria 4.0 y sus tecnologías, se halla que:

1. El 42.5% de éstos buscan teorizar los conceptos asociados con la industria 4.0 y la manufactura inteligente.
2. El 33.3% hace referencia a las tecnologías que sustentan las mismas.
3. El 16.1% resaltan la importancia de los sistemas ciberfísicos, como los mecanismos o el medio tecnológico que permite la fusión del medio físico con el virtual.
4. Y, el 8.1% está vinculado con las tecnologías que facilitan la integración de la cadena de suministro y valor.

La Figura 1 resume los artículos revisados y su categorización.

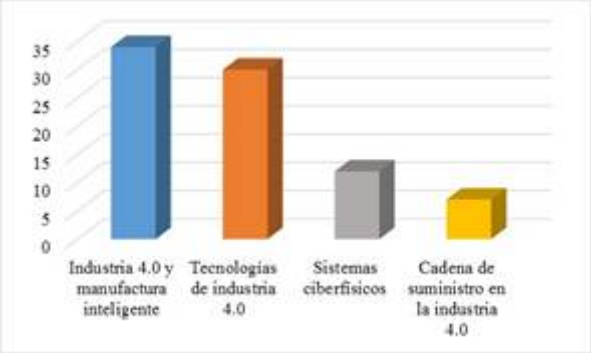


Figura 1
Clasificación de la literatura revisada
Elaboración propia.

Con base en esta revisión teórica, la Figura 2 esquematiza los componentes de la industria 4.0 que fueron señalados mayormente en estas investigaciones. De acuerdo a ello, los componentes principales giran en torno a los sistemas ciberfísicos, las máquinas y productos inteligentes, el internet de las cosas, el internet de los servicios, así como las fábricas y ciudades inteligentes. También, algunas de las tecnologías que son consideradas como subcomponentes de las primeras. La conceptualización de cada uno de estos componentes y subcomponentes se sintetizan en la Tabla 1.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

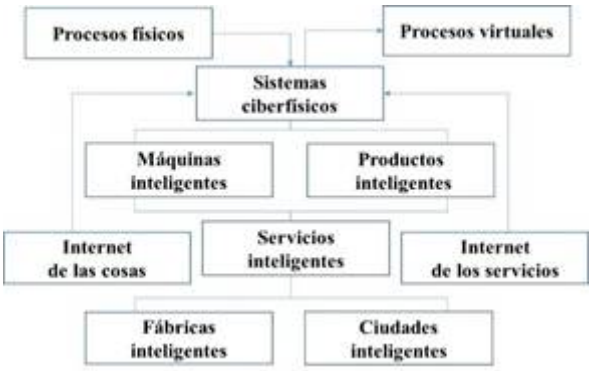


Figura 2
Componentes de la Industria 4.0
Elaboración propia.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Tabla 1

Componentes	Sistemas ciberfísicos (CPS)	Sistemas con capacidades físicas y de cómputo integradas, que pueden interactuar con humanos a través de diversos medios; permiten acceder a los datos y servicios disponibles en la web; monitorean y controlan los procesos físicos [54, 55, 56] y hacen las conexiones entre el mundo real y virtual con el internet de los servicios y la fábrica inteligente [38, 57].
Componentes	Internet de las cosas (IoT)	Red de trabajo que permite agregar radiofrecuencia y otras "cosas y objetos", como, sensores, teléfonos móviles, CPS, etc., a través de esquemas de direccionamiento para que los dispositivos y sistemas interactúen y cooperen entre sí y con otros [21, 58, 59].
Componentes	Internet de los servicios (IoS)	Infraestructura para la distribución de las actividades de valor agregado, servicios y modelos de negocio que son ofrecidos y pueden ser accesados por diversos medios vía internet [30, 60].
Aplicaciones	Máquinas inteligentes	Máquinas con mecanismos de aprendizaje capaces de interactuar con su medio ambiente de forma autónoma, para aprender de él y ajustarse al mismo [61].
Aplicaciones	Fábricas inteligentes	Fábricas conscientes del contexto, basadas en CPS y el IoT, con altos niveles de automatización y optimización para asistir a la gente y máquinas en la ejecución de las diversas tareas relacionadas con la manufactura [32, 62, 63].
Aplicaciones	Productos inteligentes	Productos integrados con IT en la forma de microchips, software y sensores capaces de colectar datos, hacer cálculos, almacenar datos, comunicarse e interactuar con su ambiente [64].
Aplicaciones	Ciudades inteligentes	Ciudades que comprenden en su política de desarrollo economía, movilidad, medio ambiente, gente, vida y gobernanza inteligentes apoyados en el internet, las redes inalámbricas y de telecomunicaciones, los sensores y el IoT [14, 65].
Aplicaciones	Servicios inteligentes	Servicios integrados en IoT que pueden ser proporcionados por dispositivos inteligentes, asociados a computadoras que incluyen funciones de conveniencia, así como capacidades de procesamiento y almacenamiento [66].

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Conceptualización de los componentes de la industria 4.0
Elaboración propia.

La Tabla 2, detalla la arquitectura tecnológica y de soporte que forma parte de la industria 4.0 y la manufactura inteligente, así como algunos de los beneficios que han sido vinculados a éstas. En la misma, se precisan los artefactos tecnológicos integrados, las capacidades que permiten los mismos, dadas sus características y principios de diseño, así como el detalle de la arquitectura de soporte y los beneficios asociados.

Tabla 2

Industria 4.0			
Fábricas inteligentes	Ciudades inteligentes	Productos inteligentes	Servicios inteligentes
Artefactos tecnológicos integrados			
Sensores, microchips, sistemas autónomos, sistemas ciberfísicos máquinas autónomas			
Características			
Inteligencia, Flexibilidad, Conectividad, Seguridad, Confiabilidad, Trazabilidad, Movilidad, Colaboración, Sociabilidad, Sustentabilidad			
Principios de diseño			
Integración, Interoperabilidad, Virtualización, Descentralización, Capacidades de tiempo real, Orientación al servicio, Modularidad			
Arquitectura de Soporte			
Internet de las cosas (IoT), Identificación por radiofrecuencia (RFID), Redes Industriales, Cómputo de alto desempeño (HPC), Cómputo móvil, la Nube y el Internet de los servicios (infraestructura (IaaS), plataformas tecnológicas (PaaS) y software (SaaS) como servicio), Big data y analítica avanzada			
Beneficios			
Producción orientada a demanda, uso más eficiente de los recursos, productividad, reducción de costos, ciclo de desarrollo de productos más cortos, mayor competitividad, optimización de los procesos, autonomía en la toma de decisiones y cadenas de suministro más integradas.			

Perspectivas bajo la Industria 4.0
Elaboración propia con base en [14, 32, 33, 39, 67, 68, 69, 70, 71].

Bajo estas consideraciones, la Tabla 3 expone algunas de las implicaciones que se visualiza tendrá esta iniciativa tecnológica en la industria, los negocios y el empleo.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Tabla 3

Industria
1. Instalaciones de producción totalmente digitalizadas e interconectadas. 2. Manufactura flexible, autónoma y sustentable. 3. Robots que asisten e interactúan con humanos. 4. Máquinas que aprenden, se autogestionan y mantienen. 5. Productos inteligentes, conscientes del entorno y que proveen información. 6. Manejo y análisis de grandes volúmenes de datos en tiempo real. 7. Enfoque a la innovación y actividades de valor agregado.
Negocios
1. Cambios en el tipo de productos de físico a digitales conectados. 2. Mayores niveles de integración de la organización y el entorno. 3. Redes de trabajo que crean valor. 4. Infraestructura y servicios compartidos en la nube. 5. Cadenas de suministro inteligentes y globales. 6. Modelos de negocio basados en servicios en la nube, logística y distribución.
Empleo
1. Nuevos esquemas de colaboración e infraestructuras sociales. 2. Otras formas de interacción hombre-máquina. 3. Perfiles de puesto altamente especializados. 4. Procesos de trabajo más complejos. 5. Trabajo más flexible. 6. Ambientes de trabajo asistidos y dependientes de la tecnología. 7. Requerimientos para el manejo de tecnologías digitales, robots, programación y analítica como competencias transversales.

Implicaciones de la Industria 4.0
Elaboración propia con base en [14, 17, 18, 21, 27, 31, 40, 41, 46, 47, 48, 51]

De igual forma, la Tabla 4 muestra las iniciativas gubernamentales relacionadas con la implementación de las tecnologías digitales en México, que se han llevado a cabo, desde 2015, las cuales se detallan a continuación:

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Tabla 4

Iniciativa	Resultados
Mapa de ruta para industria 4.0	Radiografía del país y sus perspectivas en la Industria TI para aprovechar los cambios tecnológicos a través de la transformación digital.
Centro de manufactura inteligente	Programa de formación para sensibilizar a empresarios de PyMEs sobre la importancia de transitar hacia la industria 4.0.
Programa piloto de moldes y troqueles	Programa para ofrecer servicios de herramientas digitales de modelado y simulación para PyMEs manufactureras.
Alianza México 4.0	Programa de apoyo para el desarrollo de proyectos de digitalización para el sector empresarial
Prosoft	Programa para el desarrollo de la industria del software - Proyectos de adopción de TI conforme a estrategia industria 4.0.
Resultados asociados	
Flexibilización y robustecimiento de los procesos productivos; mejoramiento de la calidad de los productos, cadenas de valor dinámicas, totalmente automatizadas y optimizadas, uso más eficiente de los recursos, personalización de la producción y generación de valor agregado.	

Iniciativas para la industria 4.0
Elaboración propia con base en [72, 73].

Discusiones

El análisis de la información presentada sobre la industria 4.0 permite tener una visión más amplia de los alcances, beneficios, implicaciones y desafíos de esta cuarta revolución industrial. Los hallazgos encontrados son coincidentes con estudios previos, en los que se ha señalado que la industria 4.0 abarca un conjunto de tecnologías que permiten la integración de productos en procesos físicos y digitales interconectados [13]; y que la fábrica inteligente es una nueva dimensión de la gestión de la manufactura que utiliza el estado del arte de tecnologías de cómputo y herramientas [63], con un impacto significativo en las cadenas de suministro y los modelos y procesos de negocio [31]. De igual forma, son similares respecto de la importancia de algunas tecnologías base para la provisión de servicios de acceso global vía internet (internet de los servicios), como los sistemas ciberfísicos, el internet de las cosas, el cómputo móvil y en la nube, y el big data [13, 34, 59].

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Asimismo, existen similitudes en lo que a la arquitectura de soporte bajo la que yace la industria 4.0 se refiere, sus beneficios e implicaciones [12, 20, 33]. Éstos se resumen a aspectos asociados a la flexibilidad, productividad, competitividad y acceso a mercados globales [39, 40], así como con la disminución de los costos y el aumento de rentabilidad.

Con base en esta perspectiva, se espera que la industria 4.0 incremente la digitalización de la manufactura, se creen redes de trabajo que permitirán una mayor interacción de humanos y máquinas; e intercambio y análisis de información, apoyado en el avance de tecnologías como el big data y el cómputo en la nube (servicios de hospedaje a través del internet) [74], lo que reconfigurará la manufactura para una producción más flexible, eficiente, de menor costo y más sustentable, al igual que una cadena de valor mejor integrada con beneficios importantes en la eficiencia operacional, productividad y competitividad [21, 39, 75, 77] y por ende en la rentabilidad organizacional.

Sin duda alguna, dos de las tendencias y desafíos se relacionarán con los desarrollos tecnológicos requeridos, por ejemplo, los sistemas ciberfísicos en los que se sustentan todas las innovaciones tanto de servicio como de manufactura [66], lo que incluirá el cómo mejorarlos, hacerlos más confiables y dotarlos de mayores capacidades y, por supuesto cómo implementarlos, [56]. El despliegue de estos sistemas, es lo que permite que exista sincronía entre el espacio físico y el virtual; y que la información pueda ser enviada y monitoreada [71]. A la par de sensores y sistemas inteligentes, así como tecnologías modernas de información y comunicación que brindarán la flexibilidad, adaptabilidad y autonomía que necesitarán los nuevos sistemas de fabricación [78].

Por lo que, en el futuro es de esperar que los sistemas de fabricación ciberfísicos (CPPS), (elementos y subsistemas autónomos, cooperativos e interconectados en todos los niveles de la producción) dominen la manufactura; estén integrados en máquinas y productos; y al mismo tiempo combinen capacidades de cómputo, trabajo en redes y procesos físicos dentro de los procesos de fabricación [35]. También, está el uso de tecnologías de la información emergentes para implementar el internet de las cosas (IoT) y de los servicios (IoS) en la ingeniería y en los procesos de negocio con el objetivo de dotar a las organizaciones con mejores sistemas, más integrados, flexibles y sustentables [39]. El IoT será la plataforma que permitirá satisfacer la necesidad de manejar, automatizar y explorar todos los dispositivos, instrumentos y sensores; y sustentará la toma de decisiones [2].

No obstante, deberán observarse otros aspectos, ya que el éxito de la implementación de estas tecnologías dependerá, en gran medida de las capacidades de integración en red que puedan construirse para facilitar la colaboración, la creación de sistemas de manufactura flexibles y reconfigurables y la integración de la ingeniería en toda la cadena de valor que permitan soportar este nuevo tipo de manufactura [39, 77].

Bajo el contexto de la industria 4.0, tanto las máquinas como los productos contarán con poderosos microprocesadores y tecnologías de inteligencia artificial, con los cuales tendrán habilidades (3C) de cómputo, comunicación y control, así también autonomía y sociabilidad. Y las redes industriales y el internet facilitarán la interconexión entre los mismos; mientras que la tecnología de cómputo en la nube proveerá el espacio de almacenamiento y la capacidad de cómputo necesaria para el manejo y análisis de grandes volúmenes de datos [39, 79].

El IoT y el IoS, seguirán siendo parte de los procesos de manufactura que impulsarán esta nueva revolución industrial [38] y dotarán de nuevas funcionalidades a los procesos de gestión y sistemas de soporte que ayudarán a que las organizaciones puedan contar con arquitecturas mejores y más automatizadas [80].

En las fábricas inteligentes, los dispositivos contarán con capacidades de decisión [81], al mismo tiempo que estarán conectados a sistemas de manufactura y gestión [82]; y podrán ser operados por individuos o mediante inteligencia artificial [32]. Es decir, se crearán sistemas de manufactura flexibles que a través de diversos dispositivos producirán grandes volúmenes de datos, los que se transferirán a la nube y se procesarán con distintos sistemas. Además, la información y los servicios podrán ser accesados fácilmente con el cómputo móvil y en la nube, [14] desde cualquier parte del mundo.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

De igual forma, la aplicación de las tecnologías de la información seguirá siendo uno de los potencializadores principales de tales oportunidades y al mismo tiempo un generador de ventajas competitivas [44], ya que, facilitarán no sólo una mayor integración de la cadena de suministro, sino además también permitirán reducir la incertidumbre, los ciclos de vida, los inventarios y propiciarán una mayor colaboración entre todos los que participan en la cadena de valor [83, 84, 85, 86]. A la par, de otros métodos y técnicas de la arquitectura empresarial, que se mejorarán y seguirán siendo utilizados para fortalecer la industria de la manufactura y la gestión como los sistemas de información para la planeación de los recursos empresariales (ERP), la ejecución de la fabricación (MES), la gestión de los procesos de manufactura (MPM), etc., los cuales permiten integrar e interoperar procesos y compartir información a lo largo de la empresa y la cadena de valor [62, 87].

En este orden de ideas, la manufactura moderna requerirá nuevos desarrollos tecnológicos, por ejemplo, modelos de integración más interoperables, inteligentes, adaptables, y distribuidos bajo una arquitectura orientada al servicio y el cómputo en la nube. Además de otros, para fortalecer la manufactura en la nube [88] y para que las fábricas del futuro puedan configurar sus sistemas (ciberfísicos) con otras tecnologías [89].

Al igual que otros países, en México se han lanzado una serie de iniciativas para incorporar a las empresas del país a la cuarta revolución industrial y acelerar el proceso de adopción. Esto incluye la elaboración del mapa de ruta tecnológica, programas para la difusión de las tecnologías, aplicaciones y los beneficios que es posible esperar a través de la misma; y el establecimiento de estrategias para adoptar éstas. No obstante, deberán redoblarse los esfuerzos para fomentar su conocimiento e impulsar su implementación.

Por último, la visión de la industria 4.0 parece ser aquella en la cual las fábricas "inteligentes" contarán con redes de trabajo globales que incorporarán en maquinaria, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción sistemas ciberfísicos. En el ambiente de manufactura, estos CPS facilitarán el intercambio de información, la ejecución de acciones y el control de cada una de ellas de forma autónoma, con lo cual se generarán mejoras a los procesos industriales implicados en la ingeniería de manufactura, los materiales, la cadena de suministro y la gestión del ciclo de vida [18].Tal fábrica inteligente producirá también productos inteligentes que sabrán cómo fueron producidos; transmitirán datos conforme estén siendo usados; datos que serán recopilados y analizados en tiempo real [69] para la toma de decisiones y el desarrollo de nuevos productos y oportunidades de negocio.

Conclusiones

Los resultados de la investigación dan respuesta a las preguntas de investigación planteadas al encontrar en la revisión de literatura información suficiente que permite conceptualizar los términos relacionados con la industria 4.0 y la manufactura inteligente. Asimismo, tener un conocimiento más claro sobre cuáles son las tecnologías asociadas a las mismas, junto con las transformaciones, implicaciones, beneficios y desafíos esperados producto de ellas. Dada la importancia que esta disrupción tecnológica tiene no sólo en la manufactura, sino en la formación de capital humano y en los nuevos modelos de negocio, la información y el conocimiento sobre los avances y beneficios de las mismas, son elementos clave para sentar las bases de conocimiento y soporte que permitan sensibilizar y capacitar a los empresarios sobre la importancia de que sus organizaciones transiten hacia la industria 4.0 y la manufactura inteligente, ya que es el medio a través del cual se puede impulsar la productividad y competitividad de las organizaciones, especialmente las PyMEs; aspectos tecnológicos que de no incorporarse o hacerlo de forma tardía pueden significar la diferencia para muchas de ellas entre permanecer o no en el mercado y acceder a nuevas oportunidades de negocio en un entorno altamente globalizado y competitivo.

El alcance, así como las implicaciones de esta iniciativa tecnológica mundial aún son difíciles de cuantificar, pero se sabe que la industria 4.0 y la manufactura inteligente optimizarán los sistemas de fabricación, acortarán el ciclo de desarrollo de nuevos productos, reducirán los costos de fabricación y

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

permitirán contar con procesos productivos totalmente integrados y automatizados, con máquinas capaces de autoadministrarse y mantenerse; que proveerán información que será posible accesar globalmente en tiempo real, a través del internet y diversos dispositivos móviles, facilitando con ello la creación de redes de cooperación y colaboración; y, de igual forma, una mejor toma de decisiones.

Sin embargo, un aspecto importante a considerar, es que para lograr esto se requiere en primer lugar, no sólo del establecimiento de iniciativas gubernamentales, sino además de la participación de las instituciones educativas para difundir su conocimiento y capacitar el recurso humano con las competencias que estas nuevas tecnologías requieren. En segundo lugar, para establecer algunas estrategias que permitan acompañar a las empresas en el proceso de implementación; esto, mediante la formación de consultores especializados; y de una estrategia nacional que contribuyan a facilitar este proceso y a crear toda la infraestructura de apoyo, que se requiere para incursionar en la misma como son las cuestiones de ciberseguridad y de comunicación, por mencionar algunas.

Como principales desafíos para su implementación están por supuesto las cuestiones de seguridad. Igualmente, la fuerte inversión en tecnología que esta transformación requiere y las competencias del personal, ya que los trabajadores deberán adquirir un nuevo conjunto de competencias relacionadas con el manejo y análisis de datos, la producción asistida por computadora, simulación en línea, programación, mantenimiento predictivo y similares.

Por último, y debido a que este estudio hace una revisión de la literatura citada sobre la industria 4.0 y la manufactura inteligente; se concluye que ésta se encuentra aún en etapa de desarrollo, por lo que deberá continuarse con su estudio para teorizar la misma. En el caso de México, el proceso de adopción de la digitalización es aún incipiente, debido a la brecha tecnológica, al rezago de conectividad (IoT), así como a los aspectos de ciberseguridad y talento especializado asociado entre otros. No obstante deberán hacerse esfuerzos para trabajar en su fortalecimiento.

Como áreas de investigación futura se podría profundizar en el conocimiento de cada una de las tecnologías de la industria 4.0., sus implicaciones y su relación con la manufactura. De igual manera, explorar las iniciativas de otros países para impulsar la Industria 4.0 y revisar casos de éxito que permitan continuar difundiendo su conocimiento e incidiendo en las ventajas de su adopción.

Referencias

[1] Tao, F., Zuo, Y., Xu, L. y Zhang, L. (2014). IoT-Based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (2), 1547–1557.

[2] Chen, F., Deng, P., Wan, J., Zhang, D., Vasilakos, A. y Rong, X. (2014). Data mining for the internet of things: literature review and challenges. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 103-146.

[3] Qiu, M. y Sha, E. (2007). Energy-aware online algorithm to satisfy sampling rates with guaranteed probability for sensor applications. High Performance Computing and Communications, of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, 4782 156–167.

[4] Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28 (1), 75–86.

[5] Wang, L., Wang, X., Gao, L., Váncza, J. (2014b). A cloud-based approach for WEEE remanufacturing. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 63(1), 409-412.

[6] Wang, S., Wan, J., Li, D., and Zhang, C., 2016, "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook," Int. J. Distrib. Sens. Networks, 2016, 681-706.

[7] Chen, M., Mao, S. y Liu, Y. (2014). Big data: a survey. *Mobile Networks and Applications*, 19 (2), 171–209.

[8] Vijaykumar, S, Saravanakumar, S, y Balamurugan, M. (2015). Unique sense: smart computing prototype for industry 4.0 revolution with IOT and bigdata implementation model. *Indian J. SCi Technol.* 8 (35), 1-4.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

[9] Ningenia (2016). *Qué es la Industria 4.0*. Recuperado el 17 de Enero de 2017 de http://www.ningenia.com/2016/05/31/que-es-la-industria-4-0/.

[10] Council of Advisors on Science and Technology Report (2010). Designing a digital future: federally funded research and development in networking and information technology. Executive Office of the President of the United States of America.

[11] Banda, R. (2014). Impacto de la manufactura inteligente en la industria y la academia. Cuartas Jornadas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. Universidad de las Américas. Cordicyt Ecuador, Quito.

[12] Deloitte AG (2014). Industry 4.0. Challenges and solutions for digital transformation and use of exponential technologies. Audit tax Consulting. Corporate Finance.

[13] Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0-potentials for creating smart products: Empirical research results. In W. Abramowitz (Ed.), *Business information systems Springer*, 16-27.

[14] Roblek, V., Meško, M. y Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0 *SAGE Open*, 2 (6), 1–11.

[15] Mosconi, F. (2015). The new European industrial policy: Global competitiveness and the manufacturing renaissance. London, England: Routledge.

[16] Sommer, L. (2015). Industrial revolution—Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8, 1512-1532.

[17] Cooper, J. and James, A. (2009) Challenges for database management in the internet of things. *IETE Technical Review*, volume 26 (5): 320-329

[18] Lasi, H., Fettke, P., Feld, T; and Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6 (4), 239-242.

[19] Ning, H., & Liu, H. (2015). Cyber-physical-social-thinking space based science and technology framework for the Internet of things. Science China Information Sciences, 58, 1-19.

[20] Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A. y Wahlster, W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Forschungsunion.

[21] Hermann, M., Pentek, T. y Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE (2016), 3928-3937.

[22] Riedl, M., Zipper, H., Meier, M. and Diedrich, C. (2014). Cyber-physical systems alter automation architectures. *Annual Reviews in Control*, 38, (1), 123–133.

[23] Zhang, W., Zhang, L, y Cai, H. (2014). Formal Specification of Cyber Physical Systems: Case Studies Based on Hybrid Relation Calculus Multimedia and Ubiquitous Engineering. Lecture Notes in Electrical Engenieering, 308, 45-51.

[24] Frazzon, E., Hartmann, J., Makuschewitz, T. y ScholzReiter, B. (2013). Towards socio-cyber-physical systems in production networks. *In Proceedings of the 46th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 49–54.

[25] Almada, L. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, JIM 3, 4 16-21.

[26] Dalton, R. (2005). The Move to Digital Manufacturing. Software Solutions. Tooling & Production Magazine.

[27] Christopher, M. y Holweg. M. (2011). Supply Chain 2.0: managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41 (1), 63-82.

[28] Ruffo, M. y Hague, R. (2007). Cost estimation for rapid manufacturing simultaneous production of mixed components using laser sintering. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, 221(11), 1585-1591.

[29] Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A. y Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. Prod. Eng. Res. Devel. 9, 143-148.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

[30] Plattform Industrie 4.0 (2014). Plattform Industrie 4.0, 2014: Industrie 4.0. Whitepaper FuEThemen. Retrieved from http://www.plattformi40.de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf.

[31] Blanchet, M., Rinn, T., Thaden, G., Thieulloy, G. (2014). Industry 4.0. The new industrial revolution. How Europe will succeed. Hg V Roland Berg. Strategy Consult. GmbH Münch.

[32] Schlick, J., Stephan, P, Loskill, M. y Lappe, D. (2014): Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung In: Bavernhansl, T., M. ten Hompel and B Vogel-Heuser, eds 2014. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung. Technologien und Migration, 57-84.

[33] Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M. Jan Justus, J., Engel J. y Harnisch, M. (2016). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group.

[34] Fundación Coteq (2015). El papel de las Tics en la cuarta revolución industrial: la fabricación inteligente. Coteq Ed.

[35] Wan, J., Tang, S., Shu, Z. Li, D., Wang, S., Imran, M. y Vasilakos, A. (2016). Software-defined industrial internet of things in the context of Industry 4.0. IEEE Sens. J. 16 (22), 7373-7380.

[36] Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.

[37] Jung, Y. (2014). An Intelligent Green Service in Internet of Things, Journal of Convegence, 5 (3), 4-8.

[38] Kagermann, H. (2014). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, *Technologien und Migration*, 603–614.

[39] Wang, S., Wan, J., LI, D., y Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: An outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks, 1-10.

[40] Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2012). Americans do I.T. better: US multinationals and the productivity miracle. American Economic Review, 102, 167-201.

[41] Chryssolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N, Mourtzis, D., Michalos, N. y Georgoulias, K. (2009), Digital manufacturing: history, perspectives, and Outlook. *Proc. IMech. E.*, 223 (5), 451-462.

[42] Shen, W. and Norrie, D. (1999). Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey. *Knowledge and Information Systems, an International Journal*, 1(2), 129-156.

[43] Charu, Ch, y Sameer, K. (2000). Supply chain management in theory and practice: a passing fad or a fundamentalnchange. Industrial Management & Data Systems, 100 (3), 100-114.

[44] Porter, M. y Millar, V. (1985). How information gives you competitive advantage. Harvard Business Review, 63(4), 149-161.

[45] Krishnakumar, K. (2003). Intelligent systems for aerospace engineering – An overview. NASA Technical Report. Document ID: 2003010574

[46] Flügel, C. y Gehrmann V. (2009). Scientific Workshop 4: Intelligent objects for the Internet of things: Internet of things—Application of sensor networking logistic. In Gerhäuser H., Hupp J., Efstratiou C., Heppner J. (Eds.), Constructing ambient intelligence, communications in computer and information science Springer, 32, 16-26.

[47] Zhengxia, W. y Laisheng, X. (2010). Modern logistics monitoring platform based on the Internet of things. In R. Li & Y. Wu (Eds.), Proceedings of the international conference on intelligent computation technology and automation (ICICTA), 726-731 Changsha, China: IEEE.

[48] Varghese, A. y Tandur, D. (2014). Wireless requierements and challenges in industry 4.0. Internatonal Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC31), IEEE, 634-638.

[49] Qi, J., Athanasios V., Jiafu, W., Jinwei, L. y Dechao, Q. (2014). Security of the Internet of Things: perspectives and challenges Springer *Science+Business Media New York*, 20 (8), 2481-2501.

[50] Xu, L. (2011). Enterprise system: state of art and future trends.. *Inf. IEEE Trans. Ind*, 7 (4), 630-640.

[51] Wan, J., Zhang, D., Zhao, S., Yang, L. y Lloret, J. (2014). Contextaware vehicular cyber-physical systems with cloud support: architecture, challenges, and solutions. *IEEE Communications Magazine*, 52 (8), 106–113.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

[52] Liu, Q., Wan, J. y Zhou, K. (2014). Cloud manufacturing service system for industrial- cluster-oriented application. Journal of Internet Technology, 15 (4), 373–380.

[53] Webster, J. y Watson, R. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *MIS Q.*, 26 (2) (2002), 18-23.

[54] Baheti, R. y Gill, H. (2011). Cyber physical systems From: The Impact of Control Technology, T. Samad and A.M. Annaswamy (eds.). Available at www.ieeecss.org.

[55] Lee, E. (2008). Cyber Physical Systems: Design Challenges. 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 363 – 369.

[56] Xu, I. (2014). Enterprise system: state of art and future trends, *IEEE. Trans. Ind. Inf.*, 7 (4), 2233-2243.

[57] Greengard, S. (2015). The Internet of Things. Boston, MA: MIT Press.

[58] Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID Journal*, 22 (7), 97- 114.

[59] Giusto, D., Iera, A., Morabito, G., Atzori, L. (2010). The internet of things. 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications. Springer Eds.

[60] Buxmann, P. Hess, T. y Ruggaber, R. (2009). Internet of Services. *Business & Information Systems Engineering* 5, 341 – 342.

[61] Jain, L., Quteishat, A., y Peng, Ch. (2007). Intelligent Machines: An Introduction, Studies in Computational Intelligence. *SCI, Springer*, 70, 1-9.

[62] Romero, D., y Vernadat, F. (2016). Enterprise information systems state of the art: past, present and future trends. *Comput. Ind.*, 79, 3-13.

[63] Lucke, D., Constantinescu, C. y Westkämper, E. (2008). Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing, in Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, *Springer*, 115–118.

[64] Miche, M., Schreiber, D., Hartmann, M. (2009). Core services for smart products. 3rd European *Workshop on Smart Products*, 19, 1–4.

[65] Neirotti P., De Marco, A., Cagliano A., Mangano, G. y Scorrano, F. (2014). Current trends in Smart City initiatives: some stylised facts, Cities, 38, 25-36.

[66] Lee, J., Kao, H. y Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment, *Procedia CIRP*, 16, 3-8.

[67] Jing, Q., Vasilakos, A., Wan, J., Lu, J, y Qiu, D. (2014). Security of the internet of things: perspectives and challenges, *Wireless Networks*, 20 (8), 2481-250.

[68] Lee, A. y Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58, 431—440

[69] Yin, S. y Kaynak, O. (2015). Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends. *Proceedings of the IEEE*, 103 (2), 143-146.

[70] Shafiq S., Sanin, C., Szczerbicki, E. y Toro, C. (2015). Virtual engineering object (VEO): toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0. *Cybern. Syst.* 46 (1-2), 35-50.

[71] Lee, J., B., Bagheri, H. A., Kao. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.

[72] Secretaría de Economía (2015). Crafting the future. A roadmap for Industry 4.0 in Mexico. AMITI. https://sg.com.mx/sites/default/files/stories/documentos/Roadmap_Industria_4_0.pdf

[73] Secretaría de Economía (2016). Iniciativas Industria 4.0. Fundación México Estados Unidos para la Ciencia, Fumec.

[74] Wee, D., Kelly, R., Cattel, J. y BreunigIndustry 4.0. (2015). How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector, McKinsey & Company.

[75] Drath R. y Horch, A. (2014). Industrie 4.0.: hit or hype, *IEE Ind. Electron. Mag.* 8 (2), 56-58.

[76] Li, X., Li D., Wan, J., Vasilakos, A., Lai, C y Wang, S. (2015). A review of industrial Wireless networks in the context of Industry 4.0, *Wireless Networks*, 23 (1), 1-19.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

[77] Acatech (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4, Recuperado de http:// www.acatech.de/ fileadmin/user.

[78] Berger, C., Hess, A., Braunreuther, S., Reinhart, G. y Bergera, C. (2016). Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems. *Procedia CIRP*, 41, 638-643.

[79] Dutton, H. (2014). Putting things to work: Social and policy challenges for the internet of things. Info 16, 1-21.

[80] Goldenberg, B. (2015). The definitive guide to social CRM. Maximizing customers relationship with social media to gain market insights, customers and profits. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education.

[81] Dutta, D. y Bose, I. (2015). Managing a big data project: The case of Ramco cements limited. International Journal of Production Economics, 165, 293-306. doi:10.1016/j.ijpe.2014.12.032

[82] Gamarra, C., Guerrero, J. M., y Montero, E. (2016). A knowledge discovery in databases approach for industrial microgrid planning. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 60, 615-630. doi:10.1016/j.rser.2016.01.091.

[83] Gunasekaran, A. Ngai, E. (2004). Information systems in supply chain integration and management, *European Journal of Operational Research* (159), 269–295.

[84] Levary, R. (2000). Better supply chains through information technology. *Industrial Management*, 42 (3), 24-30.

[85] Srinivasan, K., Kekre, S., Mukhopadhyay, T., (1994). Impact of electronic data interchange technology on JIT shipments. *Management Science*, 40, 1291-1304.

[86] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi E. (2003). Designing & Managing the Supply-Chain. 2. Aufl., Boston, MA.

[87] Thames, L. y Schaefer, D. (2016). Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0. Procedia CIRP, 52, 12-17.

[88] Wang, L., Wang, X., Gao, L., Váncza, J. (2014b). A cloud-based approach for WEEE remanufacturing. CIRP Annals Manufacturing Technology, 63(1), 409-412.

[89] Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D. de Amicis, R, y Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. IEEE Comput. Graphics Appl., 35 (2), 26-40.

PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto