

Capítulo 4

Análisis moderno sobre la Industria 4.0, sus retos y oportunidades

Carlos Eduardo Belman López

Resumen

Los sistemas de producción están evolucionando gracias a avances tecnológicos recientes e innovaciones en los sistemas de manufactura. Términos como Industria 4.0 y manufactura inteligente se han convertido en prioridad y objeto de estudio para empresas y centros de investigación, sin existir consensos generalmente aceptados. Como resultado es difícil diseñar y desarrollar soluciones para Industria 4.0, a nivel científico o empresarial. Por estos motivos, la contribución de este documento se centra en proporcionar un análisis profundo de Industria 4.0, sus retos y oportunidades. Mediante este análisis, los futuros sistemas de producción y la fábrica inteligente serán conceptualizados en base a los principios correctos siendo la base del diseño y desarrollo del sistema de manufactura inteligente en la era de Industria 4.0.

Palabras clave:
Industria 4.0;
Manufactura Inteligente;
Manufactura en la Nube;
Sistemas de Producción.

Belman López, C. E. (2025). Análisis moderno sobre la Industria 4.0, sus retos y oportunidades. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *Convergencia de las Ingenierías: Enfoques Interdisciplinarios y Soluciones Innovadoras para los Retos Contemporáneos en Industria, Energía, Automatización y Producción (Volumen I)*. (pp. 75-102). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.362.c657>



Introducción a la Industria 4.0

El término Industria 4.0 es un concepto que surgió en los últimos años debido a los avances tecnológicos y desarrollos disruptivos en el sector industrial (Zhou et al., 2016). El término se hizo público, cuando una iniciativa llamada “Industrie 4.0”, una asociación de representantes de negocios, políticos y académicos encabezados por Kagermann, Lukas y Wahlster en 2011 promovieron la idea como un enfoque para fortalecer la competitividad de la industria de manufactura alemana (Hermann et al., 2015). El gobierno federal alemán apoyó la idea al anunciar que Industrie 4.0 sería una parte integral de su iniciativa “Estrategia de Alta Tecnología 2020 para Alemania”, con el objetivo de liderar la innovación tecnológica (Hermann et al., 2015; Zhou et al., 2016).

De acuerdo con los impulsores de este movimiento, la primera revolución industrial surge a finales del siglo XVIII como consecuencia de la introducción en la industria de equipos mecánicos movidos por motores de vapor. La segunda revolución industrial inició a comienzos del siglo XX, apoyada en la electricidad, caracterizada por la producción en masa de bienes y basada en una creciente división del trabajo. La tercera revolución empezó a comienzos de los años 70 y llega hasta nuestros días, emplea la electrónica y las tecnologías de la información para conseguir incrementar la automatización de los procesos de producción (Hernández et al., 2018).

En la tercera revolución industrial, el avance de las ICT fue el núcleo que cambió el paradigma de producción. Por ejemplo, la adopción del control numérico por computadora y la utilización de robots industriales hizo posible los sistemas de fabricación flexible. Las tecnologías para el diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora y la planificación del procesamiento asistido por computadora hicieron posible la manufactura integrada por computadora (Xu et al., 2018).

Cabe señalar que el incremento de la productividad ha sido la esencia de cada revolución industrial, permitiendo el aumento de la eficiencia y productividad a través del uso de desarrollos tecnológicos disruptivos (Pereira & Romero, 2017).

Además, a diferencia de la tercera revolución industrial que se centró más en la automatización de máquinas y procesos, la Industria 4.0 se enfoca más en la digitalización e integración de extremo a extremo de los ecosistemas industriales digitales mediante la búsqueda de soluciones completamente integradas (Xu et al., 2018).

Hoy estamos en la cúspide de la Cuarta Revolución Industrial, en la que los mundos de la producción y la conectividad de red se integran a través del Internet de las Cosas (IoT) y sistemas ciberfísicos (CPS), para hacer que la Industria 4.0 sea una realidad (Xu et al., 2018). El IoT se refiere a la integración de las ICT en el entorno industrial (Schuh et al., 2014). En general, el IoT es capaz de ofrecer una conectividad avanzada entre objetos físicos, sistemas, aplicaciones y servicios, lo que permite la comunicación entre objetos y el intercambio de datos (Zhong et al., 2017). El IoT se puede definir como una red en la que los CPS cooperan entre sí mediante esquemas de direccionamiento únicos (Hermann et al., 2015).

Al mismo tiempo, otros países industriales son conscientes de esta nueva era de la producción. En China, se publicó un plan de desarrollo industrial en 2015, denominado “Hecho en China 2025” (Zhong et al., 2017; Xu et al., 2018). En Estados Unidos, General Electric promueve una idea similar bajo el nombre de Internet Industrial, definido como la integración de complejos mecanismos y dispositivos físicos con sensores y software en red, utilizados para predecir, controlar y planificar mejores resultados empresariales (Zhong et al., 2017).

Los desarrollos y avances tecnológicos en la Industria 4.0 proporcionarán una gama viable de soluciones a las crecientes necesidades de las industrias. Esta viabilidad se ha demostrado por

el hecho de que un número creciente de empresas en todo el mundo han explorado los beneficios de la digitalización e integración de las cadenas horizontales y verticales de las empresas a través de Industria 4.0, con el fin de convertirse en empresas (digitales) líderes en los complejos ecosistemas industriales del mañana (PWC, 2016).

Definición de la Industria 4.0

Aunque Industria 4.0 o cuarta revolución industrial es actualmente una de las principales prioridades para muchas empresas, centros de investigación y universidades, no existe una definición específica, clara o generalmente aceptada del término (Hermann et al., 2015), sino una amplia gama de tecnologías interdisciplinarias, con diferentes niveles de madurez y disponibilidad en el mercado, que facilitan la digitalización, automatización e integración de los procesos a lo largo de las cadenas de valor (Götz & Jankowska, 2017). La Industria 4.0 aún se encuentra en estado conceptual y dentro de las primeras etapas de implementación tanto en la industria, como en el entorno humano y la investigación científica. Los gobiernos, empresas, universidades y centros de investigación están intentando desarrollar fábricas “inteligentes” y automatizadas conectadas a través del Internet (Roblek et al., 2016).

El concepto de Industria 4.0 está basado en la integración de las ICT (Xu et al., 2018; Zhou et al., 2016), con tecnología industrial, siendo principalmente dependiente en la construcción de CPS (Jazdi, 2014), para llevar a cabo una fábrica digital e inteligente, dirigida por la información, personalizable y al cuidado del ambiente (Zhou et al., 2016).

La Industria 4.0, también conocida como manufactura inteligente, producción inteligente, fábrica inteligente, manufactura cognitiva (Xu et al., 2018), industria integrada (Götz & Jankowska, 2017), entre otros nombres que se pueden encontrar en la literatura, encapsula tendencias de desarrollo de las fábricas del futuro, para

lograr procesos inteligentes de manufactura, mediante la construcción de sistemas de producción ciber-físicos (CPPS) e implementación y operación de fábricas inteligentes (Zhou et al., 2016). La Industria 4.0 toma como fundamento las oportunidades que brinda la disponibilidad, digitalizando e integrando la información relevante desde cualquier lugar y en cualquier momento (Neugebauer et al., 2016). La Industria 4.0 considera que la cadena de valor debe ser inteligente, ágil y en red mediante la integración de objetos físicos, factores humanos, máquinas inteligentes, sensores inteligentes, procesos de producción y líneas de producción a lo largo de los límites de la organización (Belman-Lopez et al., 2020).

La Industria 4.0 consiste en una integración generalizada, donde cada elemento de fabricación intercambia información de manera autónoma, desencadena acciones y se controla a sí mismo de manera independiente (Pereira & Romero, 2017). Además, es un complejo sistema tecnológico formado fundamentalmente por la conectividad, la integración y la digitalización de la producción, enfatizando las oportunidades de integrar todos los elementos (personas, objetos y sistemas) en un sistema con valor agregado, dinámico, autoorganizado, autónomo y de funcionamiento en tiempo real (Neugebauer et al., 2016).

Para Charro & Schaefer (2018), el término Industria 4.0 se refiere a sistemas de manufactura avanzados e integrados mediante los cuales los equipos de manufactura pueden comunicarse en tiempo real entre sí (o con personas) para analizar datos, predecir fallas y reconfigurarse para optimizar la cadena de valor de una red de manufactura.

La necesidad en Industria 4.0 es convertir las máquinas tradicionales en máquinas autoconscientes y de autoaprendizaje para mejorar su rendimiento general, la gestión de su mantenimiento y la interacción que lo rodea (Lee et al., 2014). La supervisión de datos en tiempo real, el seguimiento del estado y las posiciones del producto,

así como el control de los procesos de producción son necesidades básicas en la Industria 4.0 (Almada-Lobo, 2015).

La Industria 4.0 aplica la ciencia de datos y los modelos analíticos para analizar datos en tiempo real de múltiples máquinas, procesos y sistemas para luego automatizar la manufactura como corresponde. Además, basada principalmente en el IoT, CPS e ICT, es capaz de desarrollar una nueva generación de sistemas de producción que integran y sincronizan datos en tiempo real entre los objetos físicos y el espacio computacional cibernético (Xu et al., 2018).

La Industria 4.0 permite, a través de la creación de redes y sistemas inteligentes, una mayor conectividad, robustez, y más altos estándares de calidad en manufactura e ingeniería. Por ejemplo, la Industria 4.0 tiene el potencial para lograr que los procesos de negocios sean capaces de autoorganizarse y auto optimizarse, basándose en criterios como el costo, la disponibilidad de recursos y los requisitos de demanda (Fatorachian & Kazemi, 2018).

La Industria 4.0 tiene la capacidad para lograr el establecimiento de productos y fábricas inteligentes. Las fábricas inteligentes pueden lidiar fácilmente con la necesidad de un desarrollo rápido de productos y una producción flexible. De igual forma, logran crear productos inteligentes a través de procesos de manufactura inteligentes. Estos productos tienen la habilidad de comunicarse entre sí y con su entorno, lo que les permite apoyar a los procesos de manufactura dado que contienen el conocimiento acerca del proceso, además de información de las aplicaciones del cliente (Fatorachian & Kazemi, 2018).

Áreas de impacto

El nuevo paradigma de producción conocido como Industria 4.0 reúne al mundo físico y digital a través de los CPS e IoT, esperando mejoras en los procesos de producción que aumenten la

productividad, afectando el ciclo de vida de los productos, creando nuevos modelos de negocio, mejorando el ambiente laboral y reestructurando el mercado del trabajo con nuevos roles y tareas (Pereira & Romero, 2017). Además de mejorar significativamente los tiempos de producción, elevar los niveles de automatización y el grado de personalización de los productos (Radziwon et al., 2013). A continuación, se analizan algunas de las principales áreas de impacto de la Industria 4.0.

Diseño y desarrollo de nuevos productos personalizados

La combinación de los procesos digitales en los que se basa Industria 4.0, tiene un impacto disruptivo en la ingeniería de nuevos productos. La Industria 4.0 influye en la forma en que los ingenieros tendrán que diseñar productos en instalaciones cada vez más inteligentes. Desafortunadamente, los métodos de fabricación tradicionales están diseñados para la producción en masa, no para la personalización. En el 2016, McKinsey and Company realizaron un estudio que mostró que las fábricas que implementan Industria 4.0 son mejores en diseño y fabricación de productos individualizados que las fábricas tradicionales (Crawford & ASME.Org, 2018).

Modelos de negocio

Las industrias están viviendo la cuarta revolución industrial, lo que implica, un cambio tecnológico radical basado en la digitalización y afectando toda la actividad industrial dentro y fuera de la empresa. Y como ya sucedió con las pasadas revoluciones industriales, los modelos de negocios modernos deben desarrollarse de la mano con las nuevas tecnologías para seguir siendo competitivos (Charro & Schaefer, 2018).

Debido a la llegada de la Industria 4.0, los complejos ecosistemas empresariales tienen la necesidad de adoptar nuevas arquitecturas y

procesos de negocios que ayudarán a la organización con la adaptación de la tecnología, los procesos y las relaciones industriales (Xu et al., 2018). Dado estos nuevos requisitos, están surgiendo nuevos modelos de negocios que permiten la creación de entornos colaborativos. Hay muchas oportunidades para optimizar los procesos, la creación de valor y la integración a fin de lograr la capacidad de autoorganización, integración y comunicación en tiempo real (Pereira & Romero, 2017).

Clientes

Uno de los objetivos principales de Industria 4.0 es satisfacer las necesidades individuales de los clientes, lo que afecta áreas como la gestión de pedidos, la investigación y el desarrollo, los tiempos de entrega, la utilización y el reciclaje de los productos (Vaidya et al., 2018). Bajo Industria 4.0, un nuevo método de compra será proporcionado a los clientes, permitiéndoles ordenar cualquier función o característica que pueda ser incluida dentro de los productos (Qin et al., 2016).

Mercado laboral

La Industria 4.0 se refiere a la integración de las personas en los procesos de producción, a fin de alcanzar una mejora continua, enfocándose en actividades con valor añadido y evitando desperdicios (Vaidya et al., 2018). La Industria 4.0 conducirá a una mayor automatización de tareas, lo que significa que los trabajadores deben estar preparados para realizar nuevas tareas. Este nuevo paradigma de producción tendrá un impacto en el mercado laboral y en los roles profesionales, siendo crucial garantizar que se creen más empleos que los que desaparecerán (Pereira & Romero, 2017).

Debido a la Industria 4.0 surge la necesidad de capacitar y formar una nueva generación de gerentes y trabajadores capaces de transformar las empresas en entidades colaborativas orientadas a

servicios (Wiesner & Thoben, 2016). La Industria 4.0 transformará radicalmente los perfiles del trabajo y la competencia de los trabajadores, por lo tanto, será necesario implementar estrategias adecuadas de capacitación y organizar el trabajo de manera que se fomente el aprendizaje continuo. Además, a través de la Industria 4.0 y el cambio de paradigma en la interacción entre humano y tecnología, serán las máquinas las que se adapten a las necesidades de los seres humanos y no viceversa (Kagermann et al., 2013).

Economía

Se prevé que el impacto económico de esta cuarta revolución industrial será enorme, ya que la Industria 4.0 promete una efectividad operativa sustancialmente mayor, así como el desarrollo de modelos de negocios, servicios y productos completamente nuevos (Kagermann et al., 2013). En Alemania, un estudio reciente estima que los beneficios netos gracias a la cuarta revolución industrial contribuirán hasta 267 billones de euros al PIB alemán para el año 2025. El crecimiento esperado para la industria química, la maquinaria e industria eléctrica es de un 30% entre 2013 y 2025, en fabricación de vehículos de un 20%, y en la agricultura y las tecnologías de la información de un 15%. En Estados Unidos, el gobierno apoya las actividades de investigación y desarrollo en el área del Internet industrial con un fondo de 2 mil millones de dólares para manufactura avanzada (Hermann et al., 2015).

Los clústeres industriales e Industria 4.0

Los clústeres son concentraciones geográficas de industrias relacionadas por conocimiento, habilidades, insumos, demanda u otros enlaces. De acuerdo con Maskell & Lorenzen (2003), los clústeres son formas híbridas de contratación a largo plazo, comercio recíproco, que residen en algún lugar entre las jerarquías y los mercados. Los clústeres se caracterizan por la competición, ya que las empresas

dentro de un clúster cooperan y compiten simultáneamente. Como apuntó Steiner en 1998, un clúster trabaja bajo la premisa de que la especialización regional en actividades relacionadas de empresas complementarias y su cooperación con instituciones de investigación públicas y privadas crea sinergias, aumenta la productividad y genera ventajas económicas. Los clústeres ubicados en cierta región pueden formar redes a lo largo de la cadena de valor entre los diferentes actores regionales: empresas locales, universidades, organismos científicos y autoridades regionales. Al caracterizarse por la competición, crean sinergias, fomentan la innovación y la competitividad (Götz & Jankowska, 2017).

Las compañías ubicadas en un clúster tienden a ser más competitivas, a exportar más y generalmente están más involucradas en el comercio internacional, por lo tanto, son más internacionalizadas que las empresas que residen fuera de los grupos (Porter, 2000).

Un creciente cuerpo de literatura empírica ha demostrado el impacto positivo de los clústeres en el desempeño regional y de la industria, incluyendo la creación de nuevos empleos, patentes y la formación de nuevos negocios (Delgado et al., 2014).

Como los clústeres son fenómenos geográficos vinculados por la ubicación e Industria 4.0 se trata de actividades asistidas por tecnologías de la información, interconectadas y dispersas, a primera vista estos dos podrían parecer irreconciliables (Hermann et al., 2015).

Los atributos de un clúster, como la concentración geográfica y la dimensión espacial, parecen ser intereses opuestos a las actividades dispersas e interconectadas que propone la Industria 4.0. Pero se ha demostrado que las múltiples ventajas que brindan los clústeres, como la reducción de la incertidumbre y las relaciones cercanas de la red pueden facilitar el desarrollo y la implementación de soluciones de Industria 4.0. Los clústeres son considerados los mejores ecosistemas proporcionando ventajas cruciales para hacer negocios en la era

de la cuarta revolución industrial. De hecho, la incertidumbre y la complejidad que rodean la aparición de Industria 4.0 hacen que sea aún más importante garantizar el ambiente correcto de confianza, permitiendo la cooperación y el intercambio de conocimientos (Götz & Jankowska, 2017).

El rol de un clúster en la mejora de la competitividad de las empresas se demuestra por el hecho de que estos lugares son depósitos de competencias. Los clústeres no sólo están equipados con conocimientos específicos, sino que también proporcionan mecanismos adecuados que facilitan la aplicación efectiva, absorción, difusión y acumulación de dichos conocimientos (Götz & Jankowska, 2017).

La Industria 4.0 hace que las fronteras entre plantas individuales y empresas o incluso áreas geográficas sean borrosas. La Industria 4.0, a diferencia de un clúster, se basa en la diversidad, no en la especialización y promueve la urbanización en lugar de la aglomeración. La Industria 4.0 y sus características hacen, por un lado, obsoleto e irrelevante los aspectos geográficos de un clúster, por otro lado, requiere el propicio y típico contexto de los clústeres para desarrollarse completamente. La computación en la nube y otras tecnologías relacionadas con la Industria 4.0, permiten la coordinación e integración de actividades geográficamente dispersas y distribuidas lo que parece disminuir el rol de los clústeres. Esto podría sugerir que los clústeres son un concepto obsoleto en la era de la cuarta revolución industrial dominada por soluciones ICT dispersas, sin embargo, hay evidencia que apunta en dirección opuesta. La productividad colaborativa se puede lograr a través de:

1. La globalización de las ICT y las ventajas que ofrece la computación en la nube.
2. Una fuente de la verdad única: hacer uso de la simulación como herramienta de decisión embebida dentro del ambiente de software adecuado.

3. La integración de las ICT en el entorno industrial y en procesos descentralizados y autónomos que colaboran en red.
4. La cooperación y colaboración a través de todas las fronteras, tecnologías y actividades, potencializando la toma de decisiones en un sistema descentralizado.

Las empresas necesitan del conocimiento, y el conocimiento necesita un ambiente favorable, que está espacialmente limitado. Esto implica que las empresas deben ser atraídas a un clúster u otros centros regionales de especialización. Un clúster proporciona condiciones más amplias para facilitar el arriesgado e incierto camino hacia la Industria 4.0. La transformación exitosa hacia la Industria 4.0 requiere condiciones intrínsecas para los clústeres como son la confianza mutua, la compatibilidad, cooperación estrecha y normas compartidas. La industria 4.0 incorpora el concepto de “empresa conectada” que implica la cooperación de casi todos con todos. Por tales desafíos y déficits, un clúster puede ser utilizado como vehículo para desarrollar la Industria 4.0 (Götz & Jankowska, 2017).

La naturaleza de la Industria 4.0 y los clústeres parecen ser contradictorios, sin embargo, estos no se excluyen entre sí. Los clústeres son perfectamente complementarios, ya que brindan centros de excelencia donde los conocimientos pueden ser desarrollados. Los clústeres son un entorno propicio para probar las tecnologías de Industria 4.0 y proporcionan una incubadora para el desarrollo de esta (laboratorio experimental).

Las múltiples ventajas que brindan los clústeres, como la creación de competencias, la reducción de la incertidumbre y las relaciones cercanas en red, pueden facilitar el desarrollo y la implementación de soluciones para la Industria 4.0. Los clústeres pueden ser un laboratorio para los experimentos en la Industria 4.0 que emulan el concepto de “compañía conectada” y proporcionan un ambiente único de confianza que estimule la creación y difusión del conocimiento.

Aunque la Industria 4.0 parece redefinir el concepto de clúster hacia una plataforma de colaboración o alianza, eliminando de su definición el atributo geográfico y forzando a una definición más amplia, sin ubicaciones específicas o geográficamente concentradas. Dada la complejidad y la incertidumbre, es necesario cierta cooperación para compartir el riesgo, pero permanece abierto hasta qué punto es necesario una ubicación específica (Götz & Jankowska, 2017).

Retos y oportunidades de Industria 4.0

Actualmente, la falta de herramientas poderosas aún representa un obstáculo importante para explotar todo el potencial de la Industria 4.0. En particular, las arquitecturas para los nuevos sistemas y aplicaciones son cruciales para alcanzar la Industria 4.0 (Xu et al., 2018). Una clara brecha de investigación identificada en la literatura se refiere a la creación de nuevos modelos de negocios para la producción en la nube desde la perspectiva de los nuevos sistemas de productos y servicios en Industria 4.0. Con el aumento de la producción en la nube, existe la oportunidad de diseñar modelos de negocios completamente nuevos y potencialmente disruptivos que reflejen las nuevas oportunidades de la producción digitalizada (Charro & Schaefer, 2018). A continuación, se presentan algunos de los principales desafíos detectados en la literatura para alcanzar la Industria 4.0.

Interoperabilidad y estandarización

Un desafío clave para el éxito de Industria 4.0 es la interoperabilidad de la tecnología de automatización de múltiples proveedores, que solo se puede lograr a través de acciones de estandarización llevada a cabo entre los proveedores de tecnología, integradores y usuarios finales (Weyer et al., 2015). En organizaciones bajo la Industria 4.0, CPS y humanos están conectados a través del IoT. La creación de estándares es un factor clave para el éxito de la

comunicación entre CPS de varios fabricantes (Hermann et al., 2015), así como para la integración de tecnologías dentro de ambientes inteligentes de producción (Kusiak, 2017).

Esta estandarización es fundamental para garantizar la interoperabilidad entre diferentes módulos de la línea de producción y permitir a los proveedores de tecnología cooperar de forma cercana con otros proveedores, investigar, desarrollar y probar componentes de diferentes fabricantes (Weyer et al., 2015). La interoperabilidad de todos los interesados es necesaria para la conformación de ecosistemas complejos y descentralizados. Un alto nivel de interoperabilidad, en el que todos los interesados se comprometen y contribuyen por igual, es necesario para garantizar la creación de redes entre empresas y sectores. Para ello, es necesario estándares e integración, así como un marco regulatorio, sistemas descentralizados e inteligencia artificial (Plattform Industrie 4.0, 2019).

Ciberseguridad

La alta dependencia de la Industria 4.0 sobre lo digital, la acción y control basado en datos y el gran aumento en el número de conexiones conduce a nuevas vulnerabilidades como actividades maliciosas que no necesariamente requieren una intrusión física. Por ejemplo, la manipulación de información son grandes riesgos para la producción basada en datos de Industria 4.0 (Neugebauer et al., 2016).

La confianza en los grandes volúmenes de datos hace que la ciberseguridad sea primordial para la Industria 4.0. Esto es especialmente importante ya que los activos de datos se convertirán en un indicador creciente del valor de mercado de una empresa. El creciente grado de automatización y autonomía en los sistemas aumentará la importancia de la seguridad de máquinas y personas (Kusiak, 2017).

Problemas de inversión

La cantidad para invertir es un problema general para la mayoría de las iniciativas de producción basadas en nuevas tecnologías. Una inversión significativa es inicialmente requerida para implementar la Industria 4.0 en una pequeña y mediana empresa (SME). La implementación de los pilares tecnológicos de la Industria 4.0 también requieren una gran cantidad de inversión inicial para cualquier organización (Vaidya et al., 2018). La Industria 4.0 ofrece ganancias en productividad y eficiencia de los recursos. Pero será necesario calcular las compensaciones entre los recursos adicionales que necesitan ser invertidos en las fábricas inteligentes y los ahorros generados (Kagermann et al., 2013).

Diseño de una arquitectura de referencia

En la era de Industria 4.0 es necesario una arquitectura de referencia que proporcione una descripción técnica de los estándares y facilite la implementación de los nuevos sistemas y aplicaciones industriales. La arquitectura de referencia es un modelo general que se aplica tanto a aplicaciones, productos y servicios de todas las empresas asociadas. La arquitectura de referencia proporciona un marco para la estructuración, desarrollo, integración y operación de los sistemas tecnológicos relevantes para la Industria 4.0 (Kagermann et al., 2013).

El uso de enfoques arquitectónicos es fundamental en las aplicaciones industriales y en el desarrollo de CPS, y debe abordarse como un problema global en lugar de local. Debido a que la mayoría de los ingenieros de producción son expertos en áreas como la mecánica, la electrónica, entre otras, la noción del trabajo arquitectónico ha encontrado resistencia, y de ahí la necesidad de cerrar la brecha entre estas disciplinas (Wang et al., 2018).

Los nuevos sistemas industriales deben alinear diferentes perspectivas que deben integrarse en una arquitectura de referencia, por ejemplo, las nuevas funciones y servicios desde la perspectiva de los nuevos productos y procesos industriales. Así como la perspectiva de las nuevas aplicaciones y su integración con el ambiente, adquisición de datos a través de sensores, el control continuo, análisis de tendencias, funciones de planificación y optimización, entre otras características (Belman-López et al., 2023).

Sustentabilidad

Uno de los desafíos clave de las industrias a nivel mundial es el desarrollo de procesos y productos sostenibles. La producción sostenible es la creación de productos a través de procesos económicamente sólidos con la capacidad de minimizar los impactos ambientales negativos al tiempo que ahorran energía y recursos naturales (United States Environmental Protection Agency, 2017). La sustentabilidad económica, ambiental y social es fundamental en Industria 4.0, donde los aspectos clave son el trabajo decente, la educación, la mitigación del cambio climático, la economía y la inclusión social (Plattform Industrie 4.0, 2019).

Aceptación social

La voluntad social de aceptar, usar y desarrollar este nuevo paradigma de producción es decisiva para el éxito de la Industria 4.0. La aceptación por parte de los usuarios es un requisito previo crucial. La aceptación significa que los usuarios perciben los sistemas diseñados positivamente y están dispuestos a usarlos. El pasado ha demostrado que es extraordinariamente difícil predecir la aceptación. Al mismo tiempo, la aceptación depende mucho de interacciones hombre-máquina bien diseñadas. Por esta razón, los problemas de aceptación deben abordarse ampliamente desde un principio en especial en el desarrollo de los sistemas ciber-físicos (Acatech, 2011).

Además, existe el desafío en la reestructuración de puestos de trabajo y la preocupación al hecho de que algunas de las ocupaciones menos exigentes desaparecerán. Aunque, los aumentos de productividad logrados por el uso de tecnologías inteligentes pueden ayudar a asegurar empleos, también puede destruir puestos de trabajo (efectos de redundancia). Existe la preocupación de que los efectos de redundancia de la Industria 4.0 predominen a largo plazo, lo que llevaría a lo que se conoce como desempleo tecnológico (Roblek et al., 2016).

Finalmente, los defensores de la idea que Industria 4.0 es en efecto una revolución profunda y no solo una evolución gradual, afirman que las sociedades actuales se están enfrentando también a la vida 4.0. Los formidables cambios que han llegado junto con Industria 4.0 afectan no solo a los sectores industriales, sino también a la administración pública, a la atención médica, las condiciones laborales, incluyendo los desplazamientos, viajes, la capacitación y los entrenamientos, la organización de los lugares de trabajo incluso la organización del tiempo libre. Esto significa también un nuevo rol para los gobiernos, ya que se espera más con respecto a la provisión de infraestructura, el desarrollo de redes de banda ancha e incentivos para las pequeñas empresas (Götz & Jankowska, 2017).

Relación con otros paradigmas de producción

La Industria 4.0 está dirigiendo cambios profundos en muchas industrias, como la farmacéutica, química, alimenticia, textil, energética, de la salud, entre muchas otras, incluyendo el área de la manufactura. La Industria 4.0 mediante la implementación de CPS sostiene la promesa de una mayor flexibilidad en los procesos, una personalización masiva y un aumento en la productividad, permitiendo a las empresas fabricar productos cada vez más individualizados con un tiempo de entrega al mercado más corto y una mayor calidad (Zhong et al., 2017).

La manufactura inteligente

La manufactura inteligente (MI) o producción inteligente es uno de los términos más ampliamente utilizados para describir la producción del mañana, ocasionando un rápido aumento en el volumen de publicaciones sobre este tema (Kusiak, 2017).

La MI desempeña un papel fundamental en la Industria 4.0 (Zhou et al., 2016), donde el término “inteligente” se vuelve central, volviéndose complicado encontrar una definición única y precisa (Pereira & Romero, 2017). Además, la complejidad de los modernos sistemas de manufactura y el enorme incremento en el volumen de datos ha ocasionado que la toma de decisiones sea cada vez más compleja, existiendo la necesidad de utilizar la inteligencia computacional para tomar la decisión correcta en el lugar y momento correcto (Chen, 2017).

En la MI, los recursos típicos de manufactura se convierten en objetos inteligentes capaces de sentir, actuar y tener comportamiento dentro de su ambiente (Zhong et al., 2017). El ambiente dentro de una fábrica inteligente consiste entonces, en una nueva comunicación e integración en tiempo real de todos los recursos de manufactura (sensores, actuadores, transportadores, máquinas, robots, entre otros recursos). Esta integración permite aumentar la eficiencia de fabricación y cumplir con los requisitos de mercados complejos (Pereira & Romero, 2017).

Aunque no hay una definición consensuada de MI, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), la MI es un sistema de manufactura colaborativo totalmente integrado que responde en tiempo real para satisfacer las demandas y condiciones cambiantes en la fábrica, en la cadena de suministro y en las necesidades del cliente. Es a su vez, una forma emergente de producción que integra los activos de manufactura con sensores, plataformas computacionales, tecnologías de la comunicación,

control, simulación, modelado intensivo de datos e ingeniería predictiva (Kusiak, 2017).

La MI no solo se ocupa de la automatización de los pisos de producción, sino que depende de innovaciones basadas en datos para alcanzar altos niveles de autonomía y optimización en los procesos empresariales (Yang et al., 2019). La MI hace uso de las tecnologías de la información y la comunicación aplicadas al área de la manufactura para lograr procesos flexibles y reconfigurables con el propósito de optimizar la producción, la calidad del producto, el nivel de servicio y así poder afrontar un mercado global y dinámico. La MI permite que todos los procesos físicos y flujos de información estén disponibles cuando y donde son necesarios (Wang & Ha-Brookshire, 2018). La MI se trata de la autonomía, evolución, simulación y optimización de la empresa de manufactura, y no solo del grado de automatización del piso de producción. El nivel de inteligencia de la empresa de manufactura estará determinado por la cantidad de información disponible de los procesos de manufactura, en el momento y lugar necesario, y de forma fácilmente entendible para las empresas involucradas (Yang et al., 2019). Además, del grado en que el mundo físico de la empresa haya sido reflejado en el mundo virtual o digital (Kusiak, 2017).

La MI mejora también en gran medida el diseño, producción, administración e integración de todo el ciclo de vida de un producto tradicional. El ciclo de vida del producto puede ser mejorado utilizando sensores avanzados, modelos de toma de decisiones, materiales y objetos inteligentes, así como análisis de datos (Li et al., 2017; Belman Lopez, 2021). Al mismo tiempo, sistemas de manufactura inteligente podrán proporcionar servicios colaborativos, personalizables, flexibles y reconfigurables a los usuarios finales. Las técnicas de Inteligencia Artificial (IA) tendrán un papel esencial en estos sistemas de manufactura al proporcionar características como la capacidad de aprendizaje, razonamiento y acción. Con el uso de la IA, se puede minimizar la participación humana dentro de los

sistemas y procesos, a la vez se atienden los desafíos de la MI. Estos desafíos son: el desarrollo de sistemas inteligentes de manufactura, modelos de MI basados en datos, integración y colaboración profunda entre hombre y máquina y desarrollo de casos de aplicación reales (Zhong et al., 2017; Belman-López et al., 2020b).

Manufactura en la nube

La extensión del paradigma de computación en la nube aplicado al sector de manufactura ha generado el concepto de manufactura en la nube, reconocido como una de las tecnologías más fundamentales e innovadoras para la industria de manufactura moderna, reclamando una atención cada vez mayor en la investigación (Caggiano, 2018).

El término manufactura en la nube se introdujo por primera vez en 2010. Es un modelo que permite el acceso ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos de manufactura (por ejemplo, software, equipos o recursos) que pueden aprovisionarse y liberarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción con el proveedor de servicios. También describe una visión holística de diseño y producción basado en la nube que aborda todo el proceso de realización del producto en conjunto (Charro & Schaefer, 2018; Babiceanua & Seker, 2016).

La manufactura en la nube coloca los recursos de manufactura virtualizados y encapsulados en nubes para permitir su acceso ubicuo (Chen & Tsai, 2016). La manufactura en la nube cambia significativamente la forma en que se acceden y proporcionan servicios, brindando al usuario un acceso ubicuo mediante la nube hacia los CPPS, máquinas inteligentes y a la gran cantidad de información generado a través de sistemas de sensores y técnicas de análisis de datos (Caggiano, 2018).

La manufactura en la nube construida sobre la computación en la nube explota una filosofía de “compartir para ganar” en lugar de la

propuesta tradicional de “compite para ganar”. La manufactura en la nube, si se implementa por completo, puede permitir la comunicación instantánea entre múltiples instalaciones de manufactura geográficamente dispersas, optimizando la cadena de valor de la red a través de recomendaciones a la medida (Charro & Schaefer, 2018).

Manufactura ubicua

En 1988, Mark Weiser presentó la idea de computación ubicua prediciendo que este modelo de cómputo llegaría a ser de uso generalizado. En 1999, IBM propuso formalmente el término. Uno de los objetivos más significativos de la computación ubicua es permitir a los equipos de cómputo sentir o percibir los cambios en el ambiente circundante y modificar su comportamiento de acuerdo con estos cambios. Las tecnológicas de computación ubicua habilitan a las personas el acceso a la información sin restricciones de tiempo y lugar proporcionando la forma más efectiva de percibir la ubicación de individuos u objetos, información del ambiente, situaciones personales y tareas (Tian & Zhao, 2015).

La tecnología ubicua incluye sensores ubicuos, servicios web, el IoT, la computación en la nube, entre otros. Un sensor ordinario puede ser convertido en un sensor ubicuo al añadirle un módulo de red. Otras tecnologías y sensores ubicuos incluyen etiquetas RFID, auto ID, Kinect, la realidad virtual, los CPS, GPS, GSM y WiFi (Chen & Tsai, 2016).

La manufactura ubicua (MU), es una aplicación de la computación ubicua en el sector de la manufactura, que se refiere a la capacidad de diseñar en cualquier lugar, fabricar en cualquier parte, vender en cualquier lugar y en cualquier momento. Este paradigma brinda a las fábricas una capacidad de producción ilimitada y una permanente disponibilidad de los servicios de manufactura. La MU es un concepto similar a la manufactura en la nube que permite acceso ubicuo y sobre demanda a un conjunto de recursos de manufactura configurables y

compartidos. Sin embargo, la MU enfatiza la movilidad y dispersión de los usuarios y los recursos de manufactura. Adicionalmente, la manufactura en la nube típicamente despliega un conjunto de servicios a través del Internet, mientras la MU no necesariamente utiliza comunicación en red. No obstante, MU y la manufactura en la nube se benefician una de otra. Por ejemplo, el estatus de una máquina monitoreado por un sensor ubicuo puede ser analizado utilizando un servicio en la nube. Finalmente, uno de los principales retos en la MU es la carencia de métodos organizacionales (incluyendo servicios de mediación y negociación) e infraestructura de información y comunicación adecuada (Chen & Tsai, 2016).

Conclusiones

El aumento de la productividad ha sido la esencia de cada revolución industrial. La Industria 4.0, también conocida como cuarta revolución industrial, industria integrada, entre otros nombres, encapsula tendencias de desarrollo de las fábricas del futuro, para desarrollar productos, procesos y sistemas de producción con la capacidad de alcanzar la operación de la fábrica inteligente. La Industria 4.0 se encuentra dirigiendo cambios profundos en muchas industrias, como la farmacéutica, química, alimenticia, textil, energética, de la salud, entre otras, incluyendo la manufactura y toda su cadena de valor. En la manufactura, la Industria 4.0 proporciona oportunidades en el diseño, desarrollo y ciclo de vida de nuevos productos, en el desarrollo de nuevos sistemas de producción, en el diseño de arquitecturas de referencia, en el desarrollo de nuevos modelos de negocios impactando el ámbito laboral, social y económico. La Industria 4.0 es una filosofía que enfatiza las oportunidades de integrar de forma colaborativa todos los elementos en un sistema que agrega valor, siguiendo como objetivos el aumento de la eficiencia y productividad, la personalización de productos y servicios, a la vez que equilibra la vida laboral del trabajador. Al mismo tiempo, la MI es uno de los términos más ampliamente utilizados para describir

la producción del mañana, donde los recursos típicos se convierten en objetos inteligentes con la capacidad de percibir señales de su entorno, actuar y tener comportamiento dentro de su ambiente.

Referencias

- Acatech. (2011). *Cyber-physical systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production*. National Academy of Science and Engineering.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(1), 16-21.
- Belman-Lopez, C. E. (2021). Real-time event-based platform for the development of digital twin applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(1-2), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07490-9>
- Belman-Lopez, C., Jiménez-García, J., & Hernández-González, S. (2020). Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4), 432-447. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12579>
- Belman-López, C., Jiménez-García, J., Vázquez-Lopez, J., & Camarillo-Gómez, K. (2023). Diseño de una arquitectura para sistemas y aplicaciones en Industria 4.0 basada en computación en la nube y análisis de datos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 20(2), 137-149. <https://doi.org/10.4995/riai.2022.17791>
- Belman-López, C., Jiménez-García, J., Vázquez-López, J., Hernández-González, S., & Franco-Barrón, J. (2020). Elementos fundamentales del sistema de manufactura inteligente en la era de Industria 4.0. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 7(4), 1-26.
- Caggiano, A. (2018). Cloud-based manufacturing process monitoring for smart diagnosis services. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(7), 612-623. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1425552>
- Charro, A., & Schaefer, D. (2018). Cloud Manufacturing as a new type of Product-Service System. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(10), 1018-1033. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1493234>
- Chen, T., & Tsai, H.-R. (2017). Ubiquitous manufacturing: Current practices, challenges, and opportunities. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 45, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.01.001>

- Chen, Y. (2017). Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, 3(5), 588–595. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.009>
- Crawford, M. (2018, 01 de julio). *How Industry 4.0 impacts engineering design*. ASME. <https://n9.cl/8ash9>
- Delgado, M., Porter, M. E., & Stern, S. (2014). *Defining clusters of related industries* (NBER Working Paper No. 20375). National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w20375>
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633–644. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960>
- Götz, M., & Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0 – do they fit together? *European Planning Studies*, 25(9), 1633–1653. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1327037>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). *Design principles for industrie 4.0 scenarios*. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hernández A., A., Figueroa F., V., & Jiménez G., J. (2018). *Propuesta de una metodología de diagnóstico para identificar los requerimientos tecnológicos de una empresa tradicional de manufactura para evolucionar a Industria 4.0*. Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- Jazdi, N. (2014). *Cyber physical systems in the context of Industry 4.0*. 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, Cluj-Napoca, Romania. <https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Li, B.-H., Hou, B.-C., Yu, W.-T., Lu, X.-B., & Yang, C.-W. (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>

- Maskell, P., & Lorenzen, M. (2003). *The cluster as market organization* (DRUID Working Paper No. 03-14). Danish Research Unit for Industrial Dynamics.
- Neugebauer, R., Hippmann, S., Leis, M., & Landherr, M. (2016). Industrie 4.0 - From the Perspective of Applied Research. *Procedia CIRP*, 57, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.002>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Plattform Industrie 4.0. (2019). *2030 Vision for Industrie 4.0 – Shaping digital ecosystems globally*.
- Porter, M. E. (2000). Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy. *Economic Development Quarterly*, 14(1), 15-34. <https://doi.org/10.1177/089124240001400105>
- PwC. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. h
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Tian, W., & Zhao, Y. (2015). *Optimized cloud resource management and scheduling*. Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-13415-0>
- United States Environmental Protection Agency. (2017). *Sustainable manufacturing*. <https://n9.cl/oiuqh>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Wang, J., Ma, Y., Zhang, L., Gao, R. X., & Wu, D. (2018). Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.003>

- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579-584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
- Wiesner, S., & Thoben, K.-D. (2017). Requirements for models, methods and tools supporting servitisation of products in manufacturing service ecosystems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(8), 1-12. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1130243>
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T., & Tsung, F. (2019). The Internet of Things for smart manufacturing: A review. *IIE Transactions*, 51(11), 1190-1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616-630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). *Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 2016 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2016.7603534>

Modern Analysis of Industry 4.0: Challenges and Opportunities

Análise Moderna sobre a Indústria 4.0: Seus Desafios e Oportunidades

Carlos Eduardo Belman López

Tecnológico Nacional de México en Celaya | Guanajuato | México

<https://orcid.org/0000-0003-1305-6778>

d1803018@itcelaya.edu.mx

carlosbelman@gmail.com

El Dr. Carlos Eduardo Belman López es miembro del SNII (nivel candidato) y posee como áreas de interés la producción inteligente, el gemelo digital, la inteligencia artificial y sus aplicaciones en áreas como la Agricultura de Precisión, la cadena de suministro, la Industria 5.0, entre otras. Ha logrado publicar 6 artículos JCR y 5 en revistas SECIHTI en estos temas.

Abstract

Production systems are evolving thanks to recent technological and innovative advances in manufacturing systems. Terms such as Industry 4.0 and smart manufacturing have become a priority and object of study for companies and research centers, without generally accepted consensus. As a result, it is difficult to design and develop solutions for smart manufacturing and Industry 4.0, at scientific or business level. For these reasons, the contribution of this document focuses on providing an in-depth analysis of Industry 4.0, its challenges, and opportunities. Through this analysis, future production systems and smart factories will be conceptualized based on solid principles, forming the basis for the design and development of smart manufacturing systems in the Industry 4.0 era.

Keywords: Industry 4.0, Smart Manufacturing, Cloud Manufacturing, Production Systems.

Resumo

Os sistemas de produção estão evoluindo graças aos recentes avanços tecnológicos e inovações nos sistemas de manufatura. Termos como Indústria 4.0 e Manufatura Inteligente tornaram-se prioridade e objeto de estudo para empresas e centros de pesquisa, sem que existam consensos geralmente aceitos. Como resultado, é difícil projetar e desenvolver soluções para a Indústria 4.0, tanto em nível científico quanto empresarial. Por esses motivos, a contribuição deste documento centra-se em fornecer uma análise aprofundada da Indústria 4.0, seus desafios e oportunidades. Por meio desta análise, os futuros sistemas de produção e a fábrica inteligente serão conceitualizados com base nos princípios corretos, servindo como base para o projeto e desenvolvimento do sistema de manufatura inteligente na era da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Manufatura Inteligente; Manufatura em Nuvem; Sistemas de Produção.