

Capítulo 4

Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina

Carlos Eduardo Belman López

Belman López, C. E. (2026). Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 67-89). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c863>



04

Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina

Resumen

El término Industria 4.0 se ha convertido en prioridad y objeto de estudio para organizaciones y centros de investigación en diversos países, pero aún se encuentra dentro de sus primeras etapas de implementación. Las compañías enfrentan dificultades al desarrollar soluciones para Industria 4.0, sin estar seguras de cómo afrontar sus principios de diseño o requerimientos básicos. El análisis de estos principios aborda explícitamente este problema, apoya a los profesionales en la implementación de soluciones siendo la base del desarrollo y proporciona un soporte ante los desafíos que la Industria 4.0 representa como el desarrollo de la fábrica inteligente. Por lo tanto, la contribución de este documento se centra en analizar los principios de diseño de industria 4.0, el concepto de la fábrica inteligente y los sistemas ciberfísicos, para finalmente abordar los desafíos en áreas como México y América Latina.

Palabras clave: Industria 4.0; Fábrica Inteligente; Manufactura Inteligente; Sistemas de Producción

Introducción a la Industria 4.0 y sus principios de diseño

Actualmente, las organizaciones manufactureras se encuentran en un proceso de desarrollo que se acelera debido a la Industria 4.0. Sin embargo, este desarrollo está cambiando el entorno empresarial y las empresas se enfrentan a desafíos que requieren un cambio significativo en las estructuras organizacionales, los estilos de liderazgo, cultura organizacional y habilidades laborales (Franco et al., 2023). 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. Pero es difícil desarrollar soluciones para Industria 4.0 cuando no se está seguro de los principios de diseño (requerimientos) que esta conlleva (Belman López, 2025).

Mediante Industria 4.0 y sus principios de diseño, los ingenieros de manufactura pueden rediseñar las fábricas, los procesos y las operaciones para que se adapten a los avances tecnológicos emergentes, y a la forma en que se tendrán que fabricar los productos dentro de instalaciones de manufactura cada vez más inteligentes, además, las empresas pueden lograr adaptar más rápido sus líneas de producción para explotar las tendencias de los consumidores y aumentar su productividad (Belman-Lopez et al., 2020). Hermann et al. (2015), identificó requerimientos o principios de diseño para que las empresas logren los beneficios de la Industria 4.0. Estos son la interoperabilidad, virtualización, descentralización, respuesta en tiempo real, orientación al servicio y modularidad. Posteriormente, Ghobakhloo (2019), presentó doce requerimientos para Industria 4.0. Aunque en una investigación más reciente, Belman-López et al. (2020), detalla de forma amplia y exhaustiva diecisiete requerimientos para las implementaciones en Industria 4.0. Estos requerimientos son la modularidad, integración, colaboración, flexibilidad y escalabilidad, virtualización, arquitectura distribuida y descentralizada, holística, personalizable, ubicua, robustez, información en tiempo real, autonomía e inteligencia, decisiones optimizadas por datos, seguridad, equilibra la vida laboral y mejora la

eficiencia y productividad. Estos principios son presentados de forma concisa a continuación siendo necesarios para dar forma a la fábrica inteligente e implementaciones sobre Industria 4.0.



Figura 1. Principios de diseño para las empresas en Industria 4.0
Nota: elaboración propia

Eficiencia y productividad. Este principio consiste en la entrega del mayor rendimiento posible de productos dado un volumen dado de recursos, así como el uso de la menor cantidad posible de recursos para lograr una salida deseada. El primer énfasis consiste maximizar la productividad de los recursos, mientras que en el segundo escenario el enfoque está en calcular la eficiencia de los recursos (Kagermann et al., 2013; López Martínez et al., 2021).

Integración. Implementación de la integración horizontal a través de redes de valor e integración vertical que incluya sistemas de manufactura en red para lograr mediante ambas una integración digital de extremo a extremo en toda la cadena de valor (Pereira & Romero, 2017).

Flexibilidad y adaptabilidad. La alta variabilidad en las demandas de producto y la necesidad reducir sus ciclos de vida requieren una estructura de producción ágil, flexible y que se pueda reconfigurar rápidamente ante las nuevas demandas (Angulo et al., 2016). En este

principio, los procesos de manufactura pueden ser reconfigurados flexiblemente y la escasez momentánea de recursos puede ser recompensada logrando aumentos en la producción en cortos espacio de tiempo (Kagermann et al., 2013).

Arquitectura descentralización y distribuida. La combinación de sistemas ciberfísicos (CPS) en los procesos está originando cambios en la producción, dirigiéndola hacia sistemas descentralizados. Esta descentralización no necesariamente es física, pero sí lógica, por ejemplo, un producto inteligente o CPS, con la capacidad de identificarse y conectarse a un sistema físicamente centralizado, es capaz de brindar su posición y estado, mientras que la potencia de cómputo puede estar en otra parte (Almada-Lobo, 2015).

Holística. Este principio consiste en la visión y evaluación de todas las estructuras principales, productos, procesos y recursos en conjunto permitiendo la mejora continua (Francalanza et al., 2018). Esta visión holística aplicada a máquinas, materiales, trabajadores y sistemas permitirá alcanzar la fábrica inteligente de la Industria 4.0 (Zhong et al., 2017).

Ubicua. Capacidad de diseñar en cualquier lugar, fabricar en cualquier parte, vender en cualquier lugar y en cualquier momento (Chen & Tsai, 2016).

Colaborativa. Trabajo conjunto a nivel humano-humano, humano-máquina y máquina-máquina.

Modular. El sistema de manufactura debe ser construido de forma desacoplada entre subsistemas con pocas interdependencias (Brettel et al., 2014).

Virtualización. Simulación virtual de los datos reales de un proceso, producto o servicio con el fin de prevenir errores, modificar parámetros y predecir comportamientos (MIT Technology Review, 2018). Mediante la virtualización se identifica la lógica detrás de las operaciones de los recursos físicos para su traducción al mundo virtual con el

fin de mejorar la agilidad, la flexibilidad y reducir costos (Babiceanua & Seker, 2016).

Robusta y confiable. La fábrica inteligente debe brindar seguridad operacional, tasas de fallos muy bajas, robustez, que se refiere a la capacidad de garantizar una funcionalidad básica en caso de una falla, y confiabilidad, que se refiere a la probabilidad de que un sistema tecnológico funcione correctamente durante un período de tiempo determinado en un ambiente determinado (Belman López, 2025).

Información en tiempo real. Disponibilidad de la información relevante desde cualquier lugar en cualquier momento (Neugebauer et al., 2016).

Toma de decisiones optimizadas por datos. Entrega de valor a partir de los datos (Xu & Duan, 2018), que incluyen desde propiedades de los materiales, parámetros de los procesos hasta información sobre clientes y proveedores, entre otros (Kusiak, 2017). Estos datos permiten un conocimiento profundo del sistema, brindan soporte en la toma de decisiones, generan diagnósticos y predicciones, y muestran los conocimientos adquiridos a los usuarios (Bagheri et al., 2015).

Seguridad y protección. Garantizar que las instalaciones de producción, máquinas y productos por sí mismos no supongan un peligro para las personas o para el medio ambiente. Al mismo tiempo, tanto las instalaciones de producción, los productos y el sistema en sí, deben ser protegidos contra el uso indebido y el acceso no autorizado de los datos e información que estos contienen (Kagermann et al., 2013).

Orientación a servicios. Creación de valor a través de servicios innovadores. El cambio del enfoque centrado en el producto al enfoque servicios a través del producto es una estrategia clave. Estos servicios de valor agregado deben ser proporcionados globalmente a todas las empresas bajo una composición flexible (Wiesner & Thoben, 2016).

Equilibrio de la vida laboral. A través de 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. Mientras tanto, sistemas de asistencia inteligente evitarán que los trabajadores tengan que realizar tareas rutinarias, lo que les permitirá centrarse en actividades creativas y de valor agregado (Kagermann et al., 2013).

Autonomía e inteligencia. Convertir los recursos tradicionales de manufactura en entidades independientes y autónomas que pueden comunicarse en tiempo real y cooperar en un ambiente inteligente con otros dispositivos inteligentes, tomar decisiones y realizar acciones basadas en la información obtenida (Pereira & Romero, 2017).

Sistemas de producción ciberfísicos (CPS y CPPS)

Para poder alcanzar la Fabrica Inteligente, que es uno de los objetivos primordiales en Industria 4.0, es esencial, analizar el concepto de sistemas ciberfísicos (CPS) y sistemas de producción ciberfísicos (CPPS) (Belman López et al., 2023).

Los objetos en Industria 4.0 evolucionan en la forma de CPS que poseen la capacidad de intercambiar información, desencadenar acciones y controlarse entre sí de forma autónoma, desarrollando un ambiente de producción abierto e inteligente (Weyer et al., 2015). Los CPS mediante la virtualización permiten la combinación del mundo físico con el digital, permitiendo que ambos mundos se conecten y actúen como si fueran uno solo. Todo lo que sucede sobre el mundo físico impacta sobre el virtual y viceversa (Klingenberg, 2017).

Los CPS requieren interfaces de comunicación (véase Figura 2) para intercambiar datos con productos, procesos, sistemas empresariales existentes (permitiendo una integración vertical), con la nube (para una descentralización lógica de sus capacidades computacionales), con la fábrica y su ambiente circundante (Shelden, 2018). Los CPS son ubicuos, es decir, pretenden tener la información y los servicios disponibles en todas partes y desde cualquier lugar (Jazdi, 2014) y colaborativos, permitiendo la comunicación entre humanos, máquinas, procesos y sistemas (Brettel et al., 2014; Fatorachian & Kazemi, 2018).

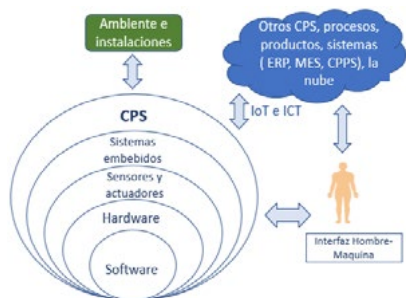


Figura 2. El entorno ciberfísico.
Nota: elaboración propia

Los CPS son sistemas autónomos que toman sus propias *decisiones basadas en datos* capturados en *tiempo real* mediante algoritmos de aprendizaje (Rojko, 2017). Esto provoca altas demandas en la disponibilidad de servicios e infraestructura en términos de espacio, calidad y seguridad (Belman-López et al., 2020).

El diseño de los CPS mediante la *virtualización* requiere de varios componentes, como el modelo virtual del mundo físico, servicios de valor agregado y autonomía e inteligencia en sus operaciones. El *modelo* del CPS encapsula características importantes relacionadas con el objeto como recurso de producción en sí, tales como: parámetros, tolerancia, funcionalidad, requerimientos, conexiones, estado y experiencia (Shafiq et al., 2015).

Finalmente, el mundo físico de los CPS puede consistir en equipos, productos, procesos, un sistema e incluso una organización. Cada uno implementa sus actividades según sus leyes físicas e incertidumbre dentro de su entorno y pueden ser divididos en niveles según sus funciones y estructura. La Figura 3, muestra los elementos de la producción inteligente y su correspondencia entre el mundo físico y digital.

Una prioridad en Industria 4.0 se encuentra en el desarrollo de sistemas productivos inteligentes, descriptibles, manejables, sensibles al contexto y con la capacidad de autocontrolarse. En Industria 4.0, estos sistemas evolucionan en la forma de CPPS que conocen su estado, capacidad, diferentes opciones de configuración, plan de preparación y mantenimiento, pueden tomar decisiones de forma autónoma (Almada-Lobo, 2015) e incluir funciones de ayuda. Los CPPS logran una

integración mejorada de los procesos reales y aquellos virtualmente planificados (Kagermann et al., 2013).

La principal diferencia entre los CPPS y los sistemas productivos tradicionales es la capacidad de comunicarse, interactuar y *colaborar* con los procesos que lo conforman, con la fábrica y con su ambiente (Hermann et al., 2015). Los CPPS habilitan una nueva *integración en tiempo real* de todos los recursos y procesos de producción, desarrollando una visión holística que aumenta la eficiencia de fabricación, permite cumplir con los requisitos de mercados altamente complejos y dota a la fábrica con *inteligencia descentralizada* (Pereira & Romero, 2017).

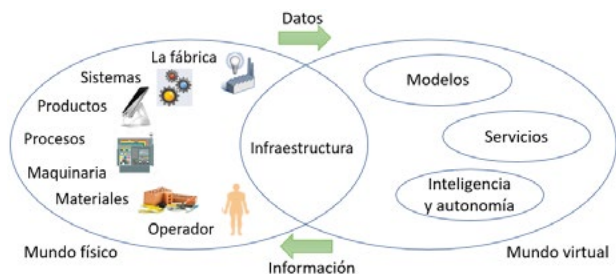


Figura 3. Elementos de Industria 4.0 y su correspondencia entre el mundo físico y digital
Nota: elaboración propia

Los CPPS mediante servicios de valor agregado, realizan análisis y *toman o informan sobre decisiones optimizadas* que transforman la producción tradicional en producción inteligente, colaborativa, personalizada y dirigida por datos (Zhong et al., 2017). Estos nuevos sistemas se encuentran *integrados* de forma vertical con los procesos de producción y de negocios (Blanchet et al., 2014), y horizontalmente con cadenas de valor dispersas y descentralizadas física, lógica o geográficamente, pero administradas en *tiempo real* desde el momento en que se realiza un pedido, hasta que el pedido es entregado al cliente (Kagermann et al., 2013).

La Fábrica Inteligente

La producción se encamina hacia lo que se conoce como “fábrica inteligente”. Está se concibe como un sistema de sistemas ciberfísicos que permite que la información sobre los procesos esté disponible cuando, donde y en la forma que se necesita dentro de cadenas de suministro y ciclos de vida de productos realizados por múltiples industrias (Yang et al., 2019).

La fábrica inteligente (FI) también se conoce como fábrica del futuro, fábrica ubicua, entre otros nombres, consiste en la *integración*, digitalización y uso de procesos *flexibles e inteligentes* a lo largo de la cadena de valor. La fábrica inteligente habilita una nueva comunicación e *integración* (Belman Lopez, 2021), en *tiempo real* de todos los recursos de producción (Radziwon et al., 2013). La FI es una fábrica que consciente de su propio contexto, es capaz de asistir a personas y máquinas en la ejecución de sus tareas. Esto es logrado mediante sistemas conscientes de su ambiente que toman en cuenta la información de su entorno, la posición y estado de diferentes objetos e información proveniente del mundo físico y virtual para cumplir sus tareas (Belman-López et al., 2023).

La FI encapsula y administra aspectos como los niveles de inventario, la logística de los materiales, el control de la calidad, el transporte y entrega de los productos terminados (Shafiq et al., 2015), gestionan la complejidad, fabrican productos de manera más eficiente y son menos propensas a las interrupciones. En la FI, las personas, las máquinas y los recursos se comunican entre sí con la misma naturalidad que en una red social. Finalmente, en las FI es posible que requerimientos *individuales* por parte del cliente sean cumplidos, lo que significa que incluso artículos únicos pueden ser fabricados de manera rentable. De esta manera, es posible para negocios y procesos permitir cambios de último momento y responder de manera flexible a cambios, interrupciones y fallas por parte de máquinas y proveedores (Kagermann et al., 2013).

Desafíos de la Industria 4.0 y la Fábrica Inteligente en México y América Latina

América Latina no es ajena a la escena global de la manufactura, abasteciendo a fabricantes de todo el mundo con su abundancia de recursos naturales como carbón, petróleo y hierro. Esta es una tendencia que probablemente continuará, con países como Chile, Bolivia y Argentina que cuentan con vastas reservas de litio, un componente clave de las baterías para vehículos eléctricos. Sin embargo, la región también ha demostrado su relevancia en un cambio más amplio dentro de la manufactura global, pasando de ser únicamente un proveedor de recursos a emerger como un gigante manufacturero en desarrollo (RSM, 2025).

La digitalización acelerada, el cambio demográfico, la urbanización, la localización y la presión por la eficiencia ambiental reconfigurarán la operación del sector. La respuesta corporativa combina inteligencia artificial, gemelos digitales, descarbonización, ciberseguridad y metaverso industrial, además de promover ecosistemas abiertos, talento especializado y colaboración multilateral con gobierno, academia e industria. Con el auge de la fábrica inteligente, se aprecia un avance más rápido en países como México con un cambio digital y sostenible, donde las empresas buscan tener mejores procesos, más eficientes, tener ahorro y ser también más sustentables. Aunque solo una cuarta parte de las empresas en la región han adoptado tecnologías 4.0; quienes sí lo han hecho reportan resultados notables donde se han presentado mejoras del 80% en eficiencia, incrementos del 60% en ingresos y una expansión del empleo del 20% (MetalMecanica, 2025).

En países como Brasil, el gobierno está proporcionando medios para impulsar la innovación en la manufactura y, como resultado, la Industria 4.0. El “Nueva Industria Brasil: Plan de Acción” es un documento lanzado por el Gobierno Federal de Brasil en enero de 2024, con el objetivo de impulsar la reindustrialización del país. El plan

prevé inversiones de R\$ 300 mil millones para 2033, provenientes de diversas fuentes como el gobierno, el sector privado y organizaciones internacionales. Las acciones requeridas incluyen la provisión de instrumentos como financiamiento, incentivos fiscales, compras públicas, capacitación profesional e investigación y desarrollo. Además, los fabricantes de tamaño medio están respondiendo a la necesidad de mejorar su arquitectura de TI para soportar tecnologías de la Industria 4.0, incluyendo la adopción de soluciones en la nube, inversiones en ciberseguridad, asociaciones con empresas tecnológicas y la formación o actualización de los empleados (RSM, 2025).

Se proyecta que para 2030 existan procesos prácticamente autónomos, con IA integrada y gemelos digitales que reflejen en la nube lo que ocurre en planta, desde la selección hasta el mantenimiento y la planeación de inventarios. En este concepto, la interacción humana sigue, pero como un complemento de mayor valor, sin embargo, el cuello de botella más serio que se identifica en la literatura sigue siendo el factor humano, existiendo una escasez crítica de talento y la urgencia de invertir en educación técnica, liderazgo, gestión y habilidades STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Matemáticas, por sus siglas en inglés), así como fomentar la mejora de competencias y la capacitación. Ante esta situación, a continuación, se analizan factores sociales que aun limitan el desarrollo de la Industria 4.0 en América Latina como son el desarrollo profesional continuo, la aceptación social y la formación del operador aumentado.

Equilibrio de la vida laboral y desarrollo profesional continuo

Ante la escasez de mano de obra calificada y la creciente diversidad de la fuerza laboral (en términos de edad, género y cultura), la Industria 4.0 permitirá diversas y flexibles trayectorias profesionales lo que permitirá a las personas seguir trabajando, siendo productivas durante más tiempo (Kagermann et al., 2013). El desafío será la reestructuración de puestos de trabajo porque algunas de las ocupaciones menos exigentes desaparecerán rápidamente. Los aumentos de produc-

tividad logrados por el uso de tecnologías inteligentes pueden ayudar a asegurar empleos, pero 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. Lo que es seguro es que los perfiles o roles de trabajo cambiarán. Esto significa que medidas de conversión y adaptación serán necesarias mediante la educación y el desarrollo de los empleados (Roblek et al., 2016). 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). En vista de la escasez de trabajadores calificados, con pensamiento interdisciplinario y excelentes aptitudes técnicas y sociales, la Industria 4.0 permitirá a este tipo de trabajadores extender su vida laboral y seguir siendo productivos durante más tiempo. Una flexible organización laboral permitirá promover un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal con un continuo desarrollo profesional (Belman López, 2024). 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 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. Mientras que, sistemas de asistencia inteligente evitarán que los trabajadores tengan que realizar tareas rutinarias, lo que les permitirá centrarse en actividades creativas y de valor agregado (Kagermann et al., 2013).

La 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 ciberfísicos (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 (Belman López, 2024), 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; Belman López, 2025).

El operador aumentado

La Industria 4.0 integra a las personas en los procesos de producción con actividades de valor añadido que eviten desperdicios (Vaidya et al., 2018). Es crucial para Industria 4.0, garantizar que se generen

más empleos que los que desaparecerán al aplicar la tecnología en actividades rutinarias (Pereira & Romero, 2017), surgiendo la necesidad de formar una nueva generación de gerentes y trabajadores capaces de transformar las empresas en entidades colaborativas orientadas a servicios (Wiesner & Thoben, 2016).

El concepto del operador aumentado se refiere al soporte técnico y tecnológico que los trabajadores deben brindar a los complejos sistemas de producción. La Industria 4.0, no visualiza instalaciones de producción sin trabajadores, sino que ve en los operadores las partes más flexibles en el sistema de producción con la capacidad de adaptarse al máximo a los cada vez más complejos y desafiantes ecosistemas industriales (Weyer et al., 2015).

La Industria 4.0 conducirá a una mayor automatización de tareas y los trabajadores deben estar preparados para realizar nuevas actividades (Pereira & Romero, 2017). Ante la escasez de trabajadores calificados, con pensamiento interdisciplinario y excelentes aptitudes técnicas y sociales, la Industria 4.0 permitirá a estos trabajadores extender su vida laboral siendo productivos durante más tiempo. Una flexible organización laboral permitirá promover un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal con un continuo desarrollo profesional. La Industria 4.0 transformará radicalmente los perfiles del trabajo y la competencia de los trabajadores, siendo necesario implementar estrategias adecuadas de capacitación y organizar el trabajo fomentando el aprendizaje continuo. Además, a través de 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 humanos y no viceversa. Mientras que, sistemas de asistencia inteligente evitarán que los trabajadores tengan que realizar tareas rutinarias, lo que les permitirá centrarse en actividades creativas y de valor agregado (Kagermann et al., 2013; Belman-López, 2022).

Conclusiones

Las preocupaciones ambientales, las soluciones sostenibles y resilientes, y los enfoques personalizados y centrados en el ser humano

se han convertido en los principales impulsores en los nuevos paradigmas de producción. En este contexto, las empresas deben identificar e invertir en tecnologías que satisfagan sus necesidades y les permitan desarrollar servicios de valor añadido con mayor eficiencia, productividad de recursos y costes asequibles, al mismo tiempo que surgen nuevos modelos de negocios que impactan el ámbito laboral, social y económico.

La Industria 4.0 encapsula tendencias de desarrollo de las fábricas del futuro, para desarrollar productos, procesos y sistemas inteligentes de manufactura, con la capacidad de alcanzar la operación de la fábrica inteligente.

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 y a su vez equilibrar la vida laboral del trabajador.

En Industria 4.0 los recursos típicos se convierten en objetos inteligentes (CPS) con la capacidad de percibir señales de su entorno, actuar y tener comportamiento dentro de su ambiente, que basados en los principios de diseño correctos tiene la capacidad de alcanzar la fábrica inteligente de la era de Industria 4.0. Esto permitirá cambios a nivel individual en clientes (con acceso a productos más personalizados) o trabajadores (con nuevos roles e incremento en la eficiencia de sus tareas) y cambios en los entornos empresariales, evolucionando las instalaciones de manufactura y la forma en que se diseñarán procesos y productos a través de sistemas de manufactura cada vez más complejos e inteligentes. Finalmente, se analizan los desafíos en áreas como México y América latina donde la aceptación social, el equilibrio de la vida laboral y el desarrollo profesional continuo hasta alcanzar al concepto del operador aumentado siguen siendo los principales desafíos.

Referencias

- Acatech. (2011). *Cyber-physical systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production*. Acatech – 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(4), 16–21.
- Angulo, P., Guzmán, C., Jiménez, G., & Romero, D. (2016). A service-oriented architecture and its ICT infrastructure to support eco-efficiency performance monitoring in manufacturing enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(2–3), 202–214. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2016.1145810>
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>
- Bagheri, B., Yang, S., Kao, H.-A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in Industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1622–1627. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.318>
- Belman López, C. (2023). Who should manage production in modern manufacturing? The product, the manufacturing system, or the factory. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 11(65), 1–20.
- Belman López, C. (2025). Análisis moderno sobre la Industria 4.0, sus retos y oportunidades. En F. Manjarrés Arias, (ed.). *Convergencia de las ingenierías: Enfoques interdisciplinarios y soluciones innovadoras para los retos contemporáneos en industria, energía, automatización y producción* (pp. 75–102). Religación Press. <https://doi.org/10.46652/religacionpress.362.c657>

- Belman López, C. (2025). Cloud computing as an Industry 5.0 enabling technology. *Ingeniería e Investigación*, 45(2). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.112793>
- Belman López, C. E. (2021). Real-time event-based platform for the development of digital twin applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(3), 1357–1369. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07490-9>
- Belman López, C. E. (2024). Design of an application to detect COVID-19 using convolutional neural networks and X-ray images. *Acta Universitaria*, 34, 1–16. <https://doi.org/10.15174/au.2024.3919>
- Belman-López, C. E. (2022). Detection of COVID-19 and other pneumonia cases using convolutional neural networks and X-ray images. *Ingeniería e Investigación*, 42(1). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v42n1.90289>
- Belman-López, 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-López, 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*, 8(46), 1–26.

- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37–44.
- 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>
- 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>
- Francalanza, E., Borg, J., & Constantinescu, C. (2018). Approaches for handling wicked manufacturing system design problems. *Procedia CIRP*, 67, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.189>
- Franco, J.-E., Jiménez, J.-A., Hernández, S., Bravo, M.-G., Camarillo, K.-A., & Belman, C.-E. (2023). Metodología directiva de las 4 fases para la mejora y migración hacia la Industria 4.0. *Dyna*, 98(2), 1–6. <https://doi.org/10.6036/10573>
- Ghobakhloo, M. (2020). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384–2406. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630775>
- 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). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>

- 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, Rumania. <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.
- Klingenberg, C. (2017). Industry 4.0: What makes it a revolution? [Conferencia]. *24th International Annual EurOMA Conference*, Edimburgo, Reino Unido.
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- López Martínez, P., Dintén, R., Drake, J., & Zorrilla, M. (2021). A big data-centric architecture metamodel for Industry 4.0. *Future Generation Computer Systems*, 125, 263–284. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.06.020>
- MetalMecánica. (2025, 15 de septiembre). Industria 4.0: Cómo aterriza la transformación en México y Latinoamérica. *MetalMecánica*. <https://n9.cl/x54sp>
- MIT Technology Review. (2018, 31 de octubre). “Digital twin”, un gemelo virtual para aconsejar a la Industria 4.0. *MIT Technology Review*. <https://n9.cl/iwmn8o>
- 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., & Romero, F. (2017). A review of the meaning and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>

- 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), 1–11. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77–90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- RSM. (2025, 27 de marzo). Industria 4.0: Impulsando el futuro en América Latina. *RSM Latin America*. <https://n9.cl/tpq61>
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Toro, C., & Szczerbicki, E. (2015). Virtual Engineering Object (VEO): Toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 46(1–2), 35–50. <https://doi.org/10.1080/01969722.2015.1007734>
- Shelden, D. R. (2018). Cyber-physical systems and the built environment. *Technology/Architecture + Design*, 2(2), 137–139. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1497358>
- 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>
- 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. (2016). Requirements for models, methods and tools supporting servitisation of products in manufacturing service ecosystems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(11), 1190–1200. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1130243>

- 88
CAPITULO 4
- Xu, L. D., & Duan, L. (2019). Big data for cyber physical systems in industry 4.0: A survey. *Enterprise Information Systems*, 13(2), 148–169. <https://doi.org/10.1080/17517575-2018.1442934>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIEE 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>

Carlos Eduardo Belman López

Tecnológico Nacional de México en Celaya | 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 en México (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.

Industry 4.0, the Smart Factory, and Its Challenges in Mexico and Latin America

Abstract

The term Industry 4.0 has become a priority and subject of study for organizations and research centers in various countries, but it is still in its early stages of implementation. Companies face difficulties developing Industry 4.0 solutions, unsure of how to address their design principles or basic requirements. Analyzing these principles explicitly addresses this problem, supports professionals in implementing solutions by providing a foundation for development, and offers support in facing the challenges that Industry 4.0 presents, such as the development of the smart factory. Therefore, this document focuses on analyzing the design principles of Industry 4.0, the concept of the smart factory, and cyber-physical systems, ultimately addressing the challenges in areas such as Mexico and Latin America.

Keywords: Industry 4.0; Smart Factory; Smart Manufacturing; Production Systems

Indústria 4.0, a Fábrica Inteligente e seus Desafios no México e na América Latina

Resumo

O termo Indústria 4.0 tornou-se prioridade e objeto de estudo para organizações e centros de pesquisa em diversos países, mas ainda se encontra em seus primeiros estágios de implementação. As empresas enfrentam dificuldades ao desenvolver soluções para a Indústria 4.0, sem ter certeza de como abordar seus princípios de design ou requisitos básicos. A análise desses princípios aborda explicitamente este problema, apoia os profissionais na implementação de soluções, sendo a base do desenvolvimento, e fornece suporte diante dos desafios que a Indústria 4.0 representa, como o desenvolvimento da fábrica inteligente. Portanto, a contribuição deste documento centra-se em analisar os princípios de design da Indústria 4.0, o conceito de fábrica inteligente e os sistemas ciberfísicos, para finalmente abordar os desafios em áreas como México e América Latina. Palavras-chave: Indústria 4.0; Fábrica Inteligente; Manufatura Inteligente; Sistemas de

Produção