



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

Una revisión de la revolución industrial 4.0 y sus métodos de implementación en las nuevas industrias

Karla Valentina Saavedra Salinas

**Universidad Santo Tomás
Tunja, Colombia**

Resumen

En este trabajo se presenta la revisión bibliográfica de trabajos relacionados con la Revolución Industrial 4.0 así como la transformación de la industria y la sociedad a través de la globalización, el internet y el uso de nuevas tecnologías de la información, enfatizando en los métodos y herramientas que más se usan en la implementación en las nuevas industrias creando así una nueva transformación de los modelos de negocios de las empresas donde se optimicen los procesos de fabricación para mayor eficacia. En esta nueva Revolución se utilizan tendencias tecnológicas que son componentes esenciales para la industria 4.0, como el internet de las cosas donde permite la comunicación entre los dispositivos dentro y fuera de una fábrica; el análisis Big data que se destaca por la variedad y velocidad del análisis de datos, y la ciberseguridad donde garantiza la seguridad de todos los datos recopilados a través del internet industrial de las cosas (IIoT), Robots autónomos donde se busca la alta productividad de manera segura y eficiente entre humano y robot, entre otras, el propósito de esta investigación es consolidar en un solo documento todo lo relacionado con la Industria 4.0 y que sirva como documento de apoyo en la integración a las empresas u organizaciones.

Palabras clave: globalización; ciberseguridad; tecnologías; datos; productividad; industria 4.0

Abstract

This paper presents the literature review of works related to the Industrial Revolution 4.0 as well as the transformation of industry and society through globalization, the internet, and the use of new information technologies, emphasizing the methods and tools that are most commonly used in the implementation in new industries, thus creating a new transformation of business models of companies where manufacturing processes are optimized for greater efficiency. In this new Revolution, technological trends that are essential components for Industry 4.0, such as the internet of things which allows communication between devices inside and outside a factory; Big data analysis that stands out for the variety and speed of data analysis, and cybersecurity which ensures the security of all data collected through the industrial internet of things (IIoT), autonomous robots where high productivity is sought safely and efficiently between human and robot, among others, the purpose of this research is to consolidate in a single document everything related to Industry 4.0 and to serve as a support document in the integration of companies or organizations.

Keywords: globalization; cybersecurity; technologies; data; productivity; industry 4.0

1. Introducción

En Alemania en el año 2011 se dio origen a lo que ahora conocemos como industria 4.0, creada como una estrategia para mantener y mejorar la competitividad a nivel global de las empresas alemanas, centrada en la interconexión de los procesos industriales y/o la transformación digital mediante el uso de los pilares tecnológicos, permitiendo obtener información en tiempo real y generar nuevos modelos de negocio según demandas y perfiles. La industria 4.0 presenta como reto la construcción de una nueva sociedad más conectada que implica cambios que pueden afectar el mercado laboral ya que exigirá niveles más altos de conocimientos en áreas relacionadas de la Industria 4.0, así como cambios en las necesidades y requerimientos de los clientes o usuarios, en nuevos modelos de negocios por las nuevas demandas de los usuarios que buscan adquirir experiencia a través de su compra y, cambios en nuestra forma de relacionarnos con nuestro entorno, así como en la agilización y mayor control en los procesos productivos; por sí, la Industria 4.0 es definida, como la introducción de tecnologías digitales en los procesos productivos, que facilitan la interpretación de la información, generando una mayor eficiencia, productividad y seguridad, para transformar los portafolios en productos y servicios tecnológicamente avanzados [1]. Sin embargo, para lograr nivel de automatización o digitalización de los procesos, es importante y necesario la implementación de los pilares de la Industria 4.0 buscando como punto de partida optimizar la comunicación, análisis y calidad de la información para llegar al punto de ofrecer servicios con más autonomía, los diez pilares que integran la Industria 4.0 son: Big Data, simulación, fabricación aditiva, ciberseguridad, cloud computing, internet de las cosas, sistemas ciber físicos y robótica, integración, realidad aumentada y Fábrica 4.0. Adicionalmente, la Industria 4.0 deben ser compatibles con tecnologías básicas, así como con los siete principios de diseño denominados gestión de datos en tiempo real, interoperabilidad, virtualización, descentralización, agilidad, orientación al servicio y procesos empresariales integrados [2]. Para abordar de una manera eficiente un proceso de transformación o actualización tecnológica y garantizar el éxito, se deberá conocer cuáles son los referentes teóricos, las investigaciones relacionadas con la implementación



de la industria 4.0 así como sus desafíos para su implantación, razón por la cual, el presente documento da a conocer los artículos científicos publicados relacionados con la industria 4.0 desde el año 2016 al año 2022, buscando establecer las mejores prácticas de gestión un enfoque ágil y adaptativo para entornos cambiantes.

2. Metodología de la investigación

Para comprender la importancia de la Industria 4.0, se ha realizado una amplia revisión bibliográfica utilizando las principales bases de datos de literatura científica, artículos de revistas y otra documentación, la revisión bibliográfica se realizó utilizando las palabras claves de Industria 4.0, globalización, ciberseguridad, tecnologías, datos, productividad, haciendo la revisión desde el año 2016 a 2022, realizando la identificación de los principales artículos, la exposición de las principales evoluciones y desarrollos tecnológicos en materia de Industria 4.0, los retos que se derivarán de su implementación así como las consecuencias industriales, económicas y sociales.

3. Industria 4.0 y aplicabilidad

El término "Industria 4.0" se dio origen en Alemania creada como una estrategia para mantener y mejorar la competitividad a nivel global busca la interconexión de los procesos industriales y/o la transformación digital mediante el uso inicialmente de 9 pilares ahora son 10 sumándose la construcción 4.0, en esta sección se presentan los antecedentes relacionados con la Industria 4.0, así como la visión de la industria futura.

En el año 2016, tenemos el trabajo desarrollado por Holzhauser y colaboradores, trabajaron la incorporación de la inteligencia local como sensores y software integrado en el proceso de producción en cadenas de logística y las oportunidades de gestión de la información resultantes facilitando la toma de decisiones y reacciones que podrían traer cambios masivos a todo el proceso de trabajo en las empresas manufactureras y al entorno directo de trabajadores individuales [3]. En el año 2017, la Berenice y colaboradores escribieron el artículo "El entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas futuras.", en el cual, buscaban identificar los fundamentos teóricos, las tecnologías asociadas a la industria 4.0 así como la manufactura inteligente y difundir cómo sus tecnologías asociadas pueden contribuir a transformar las empresas productivas, sobre todo las PyMEs del país y sensibilizar a los empresarios sobre la importancia de transitar hacia la industria 4.0 para la competitividad, y supervivencia de sus empresas [4], el método el cual usaron para su incorporación a cadenas de proveeduría globales y el acceso a nuevas oportunidades de negocio, fue una revisión del marco conceptual donde se buscaron artículos acerca de la revolución 4.0 donde se revisaron 98 artículos y de estos se clasificaron los contenidos en cuatro categorías, así mismo tenemos un estudio que describe un enfoque para representar semánticamente los datos de productos disponibles, se enfocó en estructurar y enriquecer la información utilizando una ontología de dominio extensible con el objetivo de capturar toda la información relevante, también se tuvo en cuenta el uso de las tecnologías semánticas dentro de la visión de la industrial 4.0 ya que se



puede hablar de una doble dimensión las cuales serían el uso de las técnicas inductivas y deductivas para dar sentido a los datos recopilados y así obtener nuevos conocimientos. y por otro lado está el uso de algoritmos de semántica y aprendizaje automático que mejora la calidad de la interpretación de los datos fomentando la recuperación, reutilización e integración de datos. en cuanto a la metodología se utilizó una muestra de datos ya que así pudieron evaluar el enriquecimiento semántico con lo cual se pudo mejorar la representación de las fuentes de conocimientos estadísticos tradicionales [5]. Un modelo de arquitectura y conocimiento para la integración de servicios web en sistemas de fabricación flexibles, también fue evidenciado en nuestra revisión bibliográfica, este documento se basa en el uso de ontologías para orquestar automáticamente las operaciones particulares encapsuladas por servicios web en un escenario industrial determinado, esta propuesta representa adecuadamente las características de muy alto grado de personalización y reconfiguración del sistema, implementando el SOA el cual responde por las necesidades del negocio el cual permite el desarrollo de sistemas de fabricación flexibles [6]. También encontramos un enfoque para acceder a datos de campo en sistemas de automatización utilizando una herramienta de ingeniería basada en Java para crear de forma sencilla servidores OPC UA que es básicamente un protocolo de comunicación disponible de forma gratuita diseñado específicamente para la automatización industrial en la arquitectura CPPS utilizando aplicaciones IEC 61499 que se ejecutan en el tiempo de ejecución FORTE. El uso de este tipo de sistemas ayuda a introducir nuevos sistemas de producción ciberfísicos (CPPS). Por otro lado, este documento también describe un desarrollo integrado de entorno (IDE) creado de acuerdo con IEC 61499 Perfil de cumplimiento para el metamodelo de demostraciones de factibilidad que permite a los ingenieros de petróleo y gas crear un modelo industrial en la aplicación de control y comunicaciones, se proponen metodologías de programación para CPPS basados en modelos, indican que el modelo de programación "Bundle", es adecuado para modelar no solo dispositivos a nivel de planta sino también sensores y actuadores. Aunque no se comenta su integración con normativa de automatización como IEC 61499, las herramientas para diseñar aplicaciones IEC-61499, son poco utilizados en la industria, por su complejidad o falta de personal calificado para interactuar con ellos [7].

También encontramos un artículo que presenta la trazabilidad de la incorporación de los conceptos del S/SD en el diseño de sistemas industriales ya que es teóricamente mencionado y prácticamente implementado, al igual, demuestran la implementación del S/SD en los procesos de enseñanza especialmente de los cursos de ingeniería, para los diseños, implementación, análisis y evaluación de sus índices enfocado a plantas productiva, como resultados indican que la incorporación de conceptos S/SD en la enseñanza de cursos de diseño de sistemas industriales no es difícil y los estudiantes están más dispuestos a comprender los nuevos conceptos relacionados con S/SD [8]. Se propone un enfoque de control de errores adaptativo con propiedades de temporización para ofrecer una entrega confiable y con tiempo garantizado de entrega de paquetes de control en redes de automatización industrial confiables, se desarrolla una métrica de retardo de extremo a extremo, T_{delay} , para garantizar las retransmisiones de paquetes dentro de los plazos de las aplicaciones de automatización industrial, se desarrolló un modelo analítico para calcular la capacidad de recuperación de errores de paquetes del método ASM-HARQ que garantiza lograr una entrega de paquetes confiable y oportuna en redes de automatización industrial. Tanto los resultados teóricos como los de simulación revelaron la precisión del modelo analítico para calcular la capacidad de recuperación de errores de paquetes, reducir la tasa de errores de paquetes y mejorar la tasa de entrega, elaboraron la evaluación del desempeño de ASMHARQ en entornos de Industria 4.0



[9]. Durante el 2018, se presenta una contribución en el tema de industria 4.0, enfocándose en la generación y captura de datos, en el análisis de datos, en la interacción hombre y máquina y en la producción flexible, esto con el fin de implementaciones futuras en los trabajadores, ciberseguridad y en el software [10]. La identificación de los avances en la construcción industria en apoyo de IR 4.0 y la digitalización y un enfoque en el desarrollo y despliegue de otras tecnologías que apoyan el éxito de lo que ha avanzado hacia IR 4.0 dejan claro que la industria de la construcción ha aportado de manera significativa generando y defendiendo el uso de esas metodologías digitales, convirtiéndose así en norma de muchas empresas, en la metodología presentada que no se investigan enfoques multidisciplinarios para crear reglas, procedimientos o métodos especiales por conocimientos diseñados para introducir los principios de IR 4.0 en la IC, sin embargo, utilizaron diferentes tipos de instrumentos y materiales como nuevas tecnologías de construcción, impresión 3D, tecnologías digitales, big data y equipos de construcción semiautomáticos [11]. Adicionalmente, encontramos una revisión del estado del arte en las áreas de monitoreo autoconsciente, sistemas cognitivos y agrupamiento dinámico en el estado del arte en la arquitectura propuesta, explica cómo estos métodos se integran en la arquitectura SAMBA y presenta los módulos de la solución y sus interfaces, los investigadores han propuesto varios métodos de detección inteligente, autoorganización y auto optimización así como una serie de arquitecturas cognitivas sofisticadas; a pesar de que los avances tecnológicos han mejorado la solidez y la resiliencia del Sistema de producción Ciber-Físico (CPPS) se maneja comunicaciones graduales, en comparación con los sistemas de automatización convencionales, nuevas expectativas como el autodiagnóstico y el pronóstico, la auto reparación, el autodescubrimiento y la autoconfiguración, la previsibilidad y la seguridad están aumentando [12]. Con el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y los dominios relacionados se propone una arquitectura de transmisión adaptativa con SDN y EC para IIoT, indicando que al introducir el PDD, se obtiene una ruta de transmisión balanceada para todas las rutas candidatas y un esquema adaptativo, se desarrolló un marco de simulación con un algoritmo propuesto en el entorno MATLAB el cual es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio usando varios subprocesos para simular los métodos relacionados, los subprocesos de simulación usados fueron: el controlador SDN (Redes definidas por software), que recopila parámetros de red periódicamente de los nodos de red, luego un adaptador del mecanismo para emular las acciones del controlador SDN, un enrutamiento de la potencia de transmisión de los CH, el cual se generó de acuerdo con la densidad de nodos de IIoT y el número de CH, este método se adoptó para situaciones urgentes, los resultados demostraron un esquema prometedor para tratar con diferentes flujos de datos reduciendo la exigencia del IIoT [13]. Un escenario de toma de decisiones en la planificación de sistemas de Manufactura Inteligente, se analizaron con la interacción de los sistemas ERP y CPPS, utilizaron la programación de fabricación inteligente donde se desarrollaron dinámicamente entornos de Smart manufacturing que genero procesos de solución colaborativa, pues la programación se enfrenta al desafío de desarrollar nuevas estrategias y métodos adaptados entornos cambiantes por lo que se propone redefinir los métodos y algoritmos tradicionales al marco distribuido [14]. Se retrata la importancia de los datos de simulación basados en ingeniería asistida por computadora (CAE) en la industria 4.0 que utiliza sistemas ciberfísicos para lograr una producción totalmente automatizada con interconexión de componentes basada en la nube, se ilustra una nueva perspectiva en la tecnología de fabricación que abarca los datos CAE generados instantáneamente mediante un archivo de diseño asistido por computadora (CAD) para controlar los centros de mecanizado, lo que facilita un mecanizado uniforme, la contribución de este artículo es principalmente conceptual



para fomentar el alcance de la implementación futura, presenta un método para teorizar, cálculo de ingeniería y diseño de ingeniería, que facilita la automatización completa de la sujeción de piezas para un proceso de mecanizado [15].

En 2019 encontramos la publicación del artículo relacionado con el aseguramiento de las operaciones críticas de IIoT y (CPS) Sistema Ciberfísico, aspecto primordial a la estabilidad y seguridad de la infraestructura industrial, se presenta un enfoque que define los límites para un CPS dentro de un IIoT, estableciendo un modo seguro de operación para el CPS en los casos que se dé el funcionamiento fuera de las condiciones límite preestablecidas, incluyendo desconectar CPS de la red IIoT, se utilizó un análisis de procesamiento de datos donde se integran las aplicaciones comerciales y los procesos automatizados, mediante este se probó y validó el establecimiento de una configuración de banco de pruebas de IIoT y CPS para monitorear y controlar la temperatura de un entorno objetivo [16]. Adicionalmente, tenemos la demostración de la capacidad de LPWAN de baja potencia por en una tecnología adecuada para abarcar fácilmente cientos de dispositivos en una sola estación base, conviértase aspecto exitoso del Internet de las cosas (IoT) en aplicaciones de largo alcance y baja demanda [17]. También, evidenciamos un estudio de la relación entre el metabolismo social, la CSS, la economía circular, los facilitadores de la Industria 4.0 y el paradigma holónico, proporcionando así un marco conceptual para lograr el (AISSCM) la gestión de la cadena de suministro sostenible adaptable e integrada para el metabolismo social, su importancia radica en la integración de la CSS desde la circularidad y los pilares de la sostenibilidad, se desarrolló desde el paradigma holónico a través de un marco multinivel y multiescala que posibilita su instanciación en cualquier territorio, se trabajó con métodos cuantitativos y cualitativos, que se desarrollan con base a métodos de evaluación analizando el estado e inercia del sistema metabólico global de cara a una transición sostenible de las economías emergentes [18]. Por otro lado, un estudio trabajo la adaptación de la revolución industrial 4.0 en las PYME para los servicios de agua, promoviendo la integración vertical con el fin de garantizar una contribución significativa de todos los interesados, se demostró la implantación de Industria 4.0 en los servicios de agua asegurando acceso a sistemas de I+D que promueve decisiones de inversión hacia la cuarta revolución industrial, previamente identificaron desafíos y oportunidades en relación con la integración de las pymes en la industria 4.0 describiendo los métodos que se aplican al desarrollo y empoderamiento de las PYME, particularmente en relación con la innovación y la tecnología relevante para las redes de agua inteligentes y los sistemas ciberfísicos [19].

Por otra parte, se examinó el desarrollo histórico y el marco conceptual de la Industria 4.0 en los primeros etapa y en la segunda etapa ejecutando una investigación cuantitativa sobre la preparación y concientización de empleados y directivos en Turquía hacia las transformaciones con la Industria 4.0, se evaluaron los efectos de la Revolución Industrial 4.0 sobre los mercados laborales, a través de la revisión de la literatura y el análisis de las tendencias emergentes con Industria 4.0, los riesgos, oportunidades y desafíos del proceso desde una perspectiva comparativa [20]. También tenemos la identificación del papel de la industria 4.0 para promover el desempeño empresarial sostenible en las PYMES de Tailandia frente a desafíos tecnológicos buscando abordar soluciones con respecto a los retos tecnológicos a través de la industria 4.0 utilizando como herramientas el Big data, el internet de las cosas (IoT) y la fábrica inteligente, se utilizaron estos tres elementos principales de la industrial 4.0 con el fin de realizar un análisis y un diseño de muestreo para realizar un estudio piloto y probar la validez del contenido y su confiabilidad para finalmente



realizar una recolección de datos sobre el método, proceso y periodo de recolección de datos de este estudio [21].

Durante el 2020 encontramos un documento de la revisión exhaustiva de literatura cuyo fin fue identificar los principales problemas que retrasan la implementación de tecnologías relacionadas con IR 4.0 dentro de la industria de la construcción y las oportunidades que se obtienen a largo plazo, en el estudio se utilizó el método *Six Sigma Quality Initiative, DMAIC*. *DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)* basado en datos para mejorar el plan comercial estratégico de las empresas para utilizarlo como marco de desarrollo para mejoras [22], por su parte, se investigó sobre los beneficios para las empresas que se apoyan con el internet de las cosas, el internet de los servicios, recolectando información asociadas a las tecnologías CPS embebidas en los equipos de logística interna, el método que utilizaron fue una guía de recolección de datos sobre las tecnologías CPS embebidas en los equipos de logística interna, asociadas a una herramienta para el procesamiento de información, la herramienta está respaldada por una red neuronal artificial debidamente entrenada que mide la adhesión al concepto CPS, este método demostró ser adecuado, en el trabajo se evaluaron 15 equipos de fabricantes de renombre mundial, con un error inferior al 2% [23]. Adicionalmente, un estudio de caso demuestra que las complejas características de los datos recopilados en Industria 4.0 que no se pueden manejar de manera eficiente con el clásico conjunto de herramientas estadísticas Six Sigma, es posible generar el Six Sigma multivariante: una poderosa metodología de mejora de procesos para la Industria 4.0. además, Six Sigma, como herramienta de calidad, ha fomentado una cultura de mejora constante basada en una organización fuerte y profesionalizada para la mejora, una metodología clara y bien pensada, también potentes herramientas y técnicas estadísticas del marco DMAIC (Measure, Analyze, Improve and Control) que ha demostrado ser altamente efectivo en una gran variedad de situaciones [24].

En el 2020 se presenta un modelo adaptativo mejorado para la aplicación de la estrategia Lean and Green (L&G) el cual es un sistema diseñado para mejorar de forma simultánea y continua la eficiencia operativa y la sostenibilidad referente a la capacidad de una organización o cadena de suministro en la creación y entrega de valor a los clientes [25]. Por otro lado, en los sectores de transformación utilizan métodos asociados a la industria 4.0 para resolver los problemas dinámicos de la industria pero también en el modelo se acopla un índice lean and green que sirve como un indicador de referencia y de seguimiento de la mejora de los procesos, el método utilizado fue la estrategia lean and Green estableciendo contacto entre gerente y equipo de trabajo con el fin de comprender la estructura organizativa, estableciendo acuerdos y compromisos con la organización para implementar la estrategia L&G con el fin de establecer la estrategia de L&G y comprender la producción [25]. Por otra parte, la responsabilidad social no se quedó atrás en las revisiones de la Industria 4.0, encontramos un documento que propone un modelo integral de RSE (Responsabilidad social corporativa) para la solución de los principales problemas sociales con el uso de tecnologías avanzadas en un crecimiento económico responsable fundamentando en las circunstancias de la Sociedad 5.0, este estudio incluye como metodología el análisis de los principios rectores actuales, consideración y desarrollo multidisciplinario y multifuncional de un marco integral para la RSE en organizaciones [26], Así mismo, se presentaron en una estudio adicional, los indicadores de sostenibilidad que mejor describen el impacto del proceso de adopción de la Industria 4.0 en el MERCOSUR, se utilizó una metodología integradora basado en seleccionar y sistematizar el



análisis de obras preexistentes [27]. Revisando un poco más encontramos un documento que trabaja la escala de fabricación global, los esfuerzos futuros en el avance de las operaciones, indican que, con el aumento exponencial de las aplicaciones y el internet de las cosas (IoT) se logran beneficios económicos tangibles a las empresas, sin embargo, todavía hay una gran brecha entre la teoría y las prácticas, utilizaron el método Delphi como un análisis adicional integrando toma de decisiones con DEMATEL que se basa en la teoría de grafos y se implementa para la preparación de un modelo estructural que involucra relaciones causales entre variables complejas, MMDE es un enfoque que determina valor numérico para el grado de relevancia y, representa la intensidad entre varias variables e ISM este último se emplea para seleccionar las barreras críticas para obtener un marco adecuado para la implementación de IoT [28]. Se evidencio una revisión sistemática donde se presentó un análisis en profundidad y una clasificación de la literatura existente sobre la adopción de I4.0-ET (Industria 4.0, tecnologías habilitadoras) en el contexto de fabricación y SCM, se proporcionan algunas ideas valiosas para futuras direcciones de investigación basadas en las lagunas de investigación identificadas en la literatura relacionadas con la adopción e implementación de I4.0-ET en la fabricación y SCM alcance la madurez, así mismo se proporcionan conocimientos colectivos a través de la síntesis teórica en campos y sub-campo [29]. Adicionalmente, tenemos una investigación referente a los aeropuertos inteligentes, sus ventajas sobre sus homólogos mundanos y ágiles y las herramientas de ciberdefensa que se emplean para proteger sus redes, usaron una metodología de revisión holística de las aplicaciones y servicios aeroportuarios inteligentes existentes habilitados por sensores y sistemas IoT, investigando varios tipos de herramientas de ciberdefensa, incluidas técnicas de IA y minería de datos [30]. Por otra parte, tenemos un análisis de tendencias tecnológicas para la Agricultura 4.0 donde se deben converger en propuestas orientadas al fortalecimiento de las actividades de ciencia, tecnología e innovación con el fin de promover la articulación de los sistemas mundiales de alimentación, por medio de tecnologías de trazabilidad en las cadenas de abastecimiento globales, enfocadas en la calidad e inocuidad de los productos; garantizar el consumo sostenible a través del monitoreo en tiempo real de las variables del cultivo lo que favorece el acceso y disponibilidad de alimentos y el balance de nutrientes de la población con los avances de la economía digital, la inteligencia artificial y robótica, el IoT, la innovación social y la gobernanza ágil para el desarrollo tecnológico e innovación sectorial [31]. Se ilustra cómo la implementación de las características de Industria 4.0 puede aumentar la participación de los estudiantes de ingeniería en la Fábrica de Aprendizaje de Penn State, en lugar de funcionar como una instalación que solo ofrece recursos de fabricación y creación de prototipos, la instalación en sí se utiliza como un entorno para IoT aplicaciones del proyecto, para validar el sistema de recopilación de información y monitorear fácilmente diferentes partes de Learning Factory como lo sugiere Industry 4.0. con el fin de hacer un sitio web accesible para verificar todos los sensores instalados [32]. Al separar las cadenas de suministro tradicionales implementando los principios de Industria 4.0 contribuyen a sobrevivir en mercados cambiantes, esto se evaluó utilizando un modelo de dinámica de sistemas para comprender el impacto de implementación de Industria 4.0 en los parámetros de la cadena de suministro, para el estudio realizaron una revisión de la literatura para identificar las fuerzas impulsoras y las barreras de la Industria 4.0 en el contexto de la cadena de suministro y como herramienta se utilizó la metodología SD debido a su alta capacidad en el modelado de sistemas complejos y dinámicos bajo diferentes escenarios [33]. En el año 2021, fue evidente los escritos relacionados con la Industria 4.0, donde mostraron más a fondo el origen de la industrial 4.0 destacando algunos elementos muy importantes tales como el sector manufacturero, el Internet de las cosas, la ciberseguridad y la computación en la



nube, explicando cada elemento detalladamente, este artículo no se centró solo en la RI 4.0, usaron un método sistemático, para identificar, evaluar y sintetizar el cuerpo existente de trabajo en la cual se realiza una revisión sistemática de la literatura para abordar el objetivo de este estudio, el cual es generar indicadores para la madurez y preparación de la organización DF (Digital Forense) [34], dentro de los escritos encontramos el estudio del uso de la solución de la Industria 4.0, analizando las áreas clave en los ámbitos del transporte y la logística dando un ejemplo concreto de cómo la revolución industrial está afectando al sector y cómo está respondiendo a la nueva ola de la Industria 4.0. indicando los cambios en los métodos y enfoques de gestión, influyendo cambios de los modelos de negocio, la aparición de nuevas profesiones, así como el cierre de ciertas profesiones que serán sustituidas por máquinas y dispositivos inteligentes [35]. Sin embargo, otros autores se enfocaron en evaluar la demanda de mercado laboral en Polonia determinadas por las tendencias tecnológicas globales, que incluyen la automatización y la robotización, es decir, los procesos relacionados con la recogida, el tratamiento y el almacenamiento de grandes volúmenes de datos [36]. Por otra parte tenemos una revisión bibliográfica desde el año 2013 relacionado con la tendencia actual de automatización e intercambio de datos en la fabricación que está habilitada por avances tecnológicos emergentes que incluyen Internet de las cosas (IoT), computación en la nube y sistemas ciberfísicos, para ello, realización una revisión de la literatura con un protocolo de revisión por Tranfield [37], así mismo, tenemos el tema de la computación visual de la industrial 4.0 utilizando una metodología de conceptualización investigativa agregándole valor a la interacción con los clientes, la metodología del trabajo se basa en una conceptualización de investigación aplicada del papel de la Computación Visual en los paradigmas de la Industria 4.0 y el Operador 4.0, seguida de un conjunto de 3 ejemplos prácticos que ya están funcionando en varias empresas, la mayoría dedicadas a PYMES [38], adicionalmente, se tiene un enfoque que distingue tres capas que forman parte de la Industria Paradigma 4.0: borde, niebla y nube. Cada una de ellas realiza operaciones computacionales, transformando los datos producidos en la fábrica inteligente en información útil, se indica la incorporación de la arquitectura de métodos capacitados o no para el análisis de datos, se presenta un caso de estudio que implementó un algoritmo de proceso de control estadístico en tiempo real basado en gráficos de control [39]. Investigadores presentan una metodología la cual es VIS-HAPT para desarrollar escenarios visohápticos realistas para promover el aprendizaje de conceptos de ciencia y física para estudiantes de ingeniería, la metodología consta de cuatro etapas que integran procesos de aprendizaje significativos para los estudiantes en la educación 4.0, el trabajo; se propone una metodología general (llamada VIS-HAPT) destinada a desarrollar, implementar y evaluar entornos visohápticos en el marco de Educación 4.0 [40]. Adicionalmente, encontramos dos contribuciones que pueden ayudar a los ingenieros de software de algunas PYMES a incorporar Industria Tecnologías 4.0 en el contexto del ciclo de vida del cliente, el primero es una metodología que puede ayudar en la tarea de crear nuevos servicios de software, alineados con Industria 4.0, que permiten cambiar la forma en que los clientes interactúan con las empresas y las experiencias, la metodología detalla un conjunto de etapas que se dividen en fases que a su vez se componen de actividades, se hace especial énfasis en la incorporación de descripciones semánticas y visualización 3D en la implementación de estos nuevos servicios. La segunda aportación es un sistema desarrollado para un escenario real de fabricación, utilizando una metodología que permite observar las posibilidades que este tipo de sistemas pueden ofrecer a las PYMES en dos fases del ciclo de vida del cliente [41]. Recientemente (2022), encontramos un modelo de medición para la implementación de la Industria 4.0 en las empresas del sector económico, se manejan temas como la estrategia de TI y



ciberseguridad, habilitadores, fábrica inteligente, propuesta de valor y experiencia del cliente y respecto a esto se realiza una medición de la implantación de la Industria 4.0 en las empresas, con el fin de obtener un índice de madurez a través de una metodología de cuatro pasos; en este estudio se diseñó un modelo de medición secuencial el cual fue un estudio cualitativo y cuantitativo. A partir de los resultados del estudio se derivó la madurez relativa de la Industria 4.0 de un conjunto representativo de empresas portuguesas de varios sectores económicos y al diseñar el modelo se identificó las condiciones favorables para la implementación efectiva de la Industria 4.0 [42]. Por otra parte, tenemos un estudio de sistemas de cancelación de kits de RFID (Identificación de frecuencia de radio) el cual permite almacenar, transmitir o identificar esos datos a través de etiquetas que se realizan en CNH industrial, que es un fabricante global de maquinaria en la línea de pintura para aumentar la productividad del proceso de ensamblaje de fabricación inteligente, el método usado fue RFID que es un método de tecnología computarizada de captura de identidad y estadísticas, proporciona una forma económica múltiples flujos de trabajo de logística e intralogística entrantes a mayor escala [43]. Siguiendo con la revisión de la revolución industrial 4.0 y sus métodos de implementación en las nuevas industrias, encontramos un artículo que examina las tecnologías de Retail 4.0 y su aplicación en la industria minorista. El Retail está caracterizado por el comercio minorista, se usa en empresas de ventas por volumen de inventario a múltiples clientes finales. El retail destaca por su interacción directa con el usuario final, tiene una alta tasa de repetición, tiene una fuerte dependencia logística tienen el propio centro logístico y red de distribución, con esta tecnología se busca implementar la inteligencia artificial en el negocio, sin abandonar las tiendas físicas [44]. De otra parte, tenemos a Malik y colaboradores, pretendieron demostrar los aspectos de sostenibilidad de la tecnología de impresión en 3D para la mejora de la industrial 4.0, la metodología que se usó en este artículo fue una revisión exhaustiva de la literatura para estudiar las relaciones detalladas entre la impresión 3D, la Industria 4.0 y la sostenibilidad [45]. El analizar y utilizar efectivamente la computación en la niebla para mejorar las aplicaciones de la industria 4.0 y las ciudades inteligentes, fue trabajada por Mana y colaboradores demostraron la eficiencia de los procesos de manufactura [46].

Conclusiones

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se puede concluir que en la revolución industrial 4.0 se pueden implementar varias metodologías y/o herramientas las cuales dan un mayor enfoque al estudio deseado según el área a investigar, así mismo es importante conocer las nuevas tecnologías asociadas a estas mismas. Por otro lado, la revolución 4.0 ha implementado nuevas transformaciones en los modelos de negocios de las empresas donde se incorporan nuevas funciones y tecnologías emergentes como lo son el internet de las cosas, sistemas ciber físicos, ciberseguridad y Big data. Esto les permite disponer de modelos virtuales de sus operaciones para optimizarlas, simular nuevos procesos y productos, mejorar la planificación, acceder a información sobre todo el ciclo de vida de sus elementos específicos de producción y poder ofrecer y recibir nuevos servicios de valor añadido. Gracias a la revolución 4.0 se puede decir que busca la reorganización de las cadenas de valor industriales para que, en las fábricas modulares inteligentes, los sistemas ciber físicos monitoreen los procesos, creen copias virtuales del mundo físico al mundo virtual, posibilitando la toma de decisiones descentralizadas. En cuanto a los métodos y herramientas que se tuvieron en cuenta, en cada uno de los artículos se puede destacar que a pesar de que la Revolución



industrial 4.0 tiene tantos pilares en los que se pueden trabajar, las más comunes son el Big data ya que mejora los procesos de almacenamiento, eliminando los cuellos de botella y tiene una demanda más precisa gracias a los datos históricos que se recolectan. También se encuentra el internet de las cosas que ayuda a integrar un sistema de procesamiento, almacenamiento y comunicación entre los procesos físicos de la empresa que están conectados entre sí mediante sensores y por último esta la ciberseguridad que ayuda a Proteger las computadoras, servidores, dispositivos móviles, sistemas electrónicos, redes y datos de ataques maliciosos en las PYMES.

Referencias

- [1] P. L. y V. R. Analía Erbes, Graciela Gutman, "Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe," *Nac. Unidas*, pp. 1–152, 2019, [Online]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44954/1/S1901011_es.pdf.
- [2] MiniTIC, "Aspectos básicos de la industria 4.0," *Ministerios de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MiniTIC*, 2019. .
- [3] A. Nougarede, D. Francis, and P. Rondet, *The palgrave handbook of managing continuous business transformation*, vol. 165, no. 1–3. 1991.
- [4] C. Ynzunza-Cortés, J. Izar-Landeta, and J. Bocarando, "El Entorno de la Industria 4.0 Implicaciones y Perspectivas Futuras," *Concienc. Tecnológica*, vol. 54, no. 1405–5597, pp. 33–45, 2017, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6405835>.
- [5] P. F. Ruben Costa and G. Ricardo Jardim, "Semantic enrichment of product data supported by machine learning techniques," pp. 1472–1479, 2017.
- [6] C. Haibo, X. Lingling, W. Peng, Z. Peng, and Y. Haibin, "Ontology- based web service integration for flexible manufacturing systems," 2017.
- [7] M. V. Garcia, E. Irisarri, F. Perez, M. Marcos, and E. Estevez, "Engineering tool to develop CPPS based on IEC-61499 and OPC UA for oil&gas process," *IEEE Int. Work. Fact. Commun. Syst. - Proceedings, WFCS*, 2017, doi: 10.1109/WFCS.2017.7991969.
- [8] I. H. Garbie, "Incorporating Sustainability/Sustainable Development Concepts in Teaching Industrial Systems Design Courses," *Procedia Manuf.*, vol. 8, no. October 2016, pp. 417–423, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.02.053.
- [9] T. Karimireddy and S. Zhang, "Incorporation of timing properties into adaptive error control method for timely and reliable communication in industrial automation networks," *Syst. Sci. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 350–360, 2017, doi: 10.1080/21642583.2017.1367733.
- [10] M. Sachon, "Los pilares de la industria 4.0," *Rev. negocios del IEEM*, vol. 1, no. Abril, pp. 46–54, 2018.
- [11] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. A. W. A. Zawawi, and B. S. Mohammed, "Industry Revolution IR 4.0: Future Opportunities and Challenges in Construction Industry," *MATEC Web Conf.*, vol. 203, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201820302010.
- [12] L. C. Siafara, H. Kholerdi, A. Bratukhin, N. Taherinejad, and A. Jantsch, "SAMBA – an architecture for adaptive cognitive control of distributed Cyber-Physical Production Systems based on its self-awareness," *Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 135, no. 3, pp. 270–277, 2018, doi: 10.1007/s00502-018-0614-7.
- [13] J. Wang and D. Li, "Adaptive computing optimization in software-defined network-based industrial internet of things with fog computing," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 8, pp. 1351–1360, 2018, doi: 10.3390/s18082509.
- [14] D. Rossit and F. Tohmé, "Scheduling research contributions to Smart manufacturing," *Manuf. Lett.*, vol. 15, pp. 111–114, 2018, doi: 10.1016/j.mfglet.2017.12.005.



- [15] D. Quaglia, "Cyber-physical systems: Modeling, simulation, design and validation," pp. 1–2, 2013, doi: 10.1109/meco.2013.6601389.
- [16] A. Wadsworth, M. I. Thanoon, C. McCurry, and S. Z. Sabatto, "Development of IIoT Monitoring and Control Security Scheme for Cyber Physical Systems," *Conf. Proc. - IEEE SOUTHEASTCON*, vol. 2019-April, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020516.
- [17] T. Adame, A. Bel, and B. Bellalta, "Increasing LPWAN Scalability by Means of Concurrent Multiband IoT Technologies: An Industry 4.0 Use Case," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 46990–47010, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909408.
- [18] A. Martín-Gómez, F. Aguayo-González, and A. Luque, "A holonic framework for managing the sustainable supply chain in emerging economies with smart connected metabolism," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 141, no. October 2018, pp. 219–232, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.10.035.
- [19] P. Nthutang, "Integration of Small and Medium Enterprises for Industry 4.0 in Water Sector," *2018 IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 1206–1210, 2018.
- [20] R. Kurt, "Industry 4.0 in Terms of Industrial Relations and Its Impacts on Labour Life," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 158, pp. 590–601, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.093.
- [21] M. Haseeb, H. I. Hussain, B. Ślusarczyk, and K. Jermstittiparsert, "Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance," *Soc. Sci.*, vol. 8, no. 5, 2019, doi: 10.3390/socsci8050154.
- [22] W. S. Alaloul, M. S. Liew, N. Amila, W. Abdullah, and I. B. Kennedy, "Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders," *Ain Shams Eng. J.*, no. xxxx, 2019, doi: 10.1016/j.asej.2019.08.010.
- [23] G. Matana, A. Simon, M. G. Filho, and A. Helleno, "Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for industry 4.0," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 228, no. June, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107845.
- [24] D. Palací-López, J. Borràs-Ferrís, L. T. da Silva de Oliveria, and A. Ferrer, "Multivariate six sigma: A case study in industry 4.0," *Processes*, vol. 8, no. 9, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/PR8091119.
- [25] W. D. Leong *et al.*, "Enhancing the adaptability: Lean and green strategy towards the Industry Revolution 4.0," *J. Clean. Prod.*, vol. 273, p. 122870, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122870.
- [26] V. Potočan, M. Mulej, and Z. Nedelko, "Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems," *Kybernetes*, vol. 50, no. 3, pp. 794–811, 2021, doi: 10.1108/K-12-2019-0858.
- [27] B. S. B. de Freitas, I. P. Munhoz, and F. C. Mendonça, "Indicators for Assessing Sustainability and Productivity in Companies with Implementation of Industry 4.0 in MERCOSUR," *Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 233, pp. 33–40, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-75680-2_5.
- [28] R. Singh and N. Bhanot, "An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 8, pp. 2454–2476, 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1675915.
- [29] R. D. Raut, A. Gotmare, B. E. Narkhede, U. H. Govindarajan, and S. U. Bokade, "Enabling Technologies for Industry 4.0 Manufacturing and Supply Chain: Concepts, Current Status, and Adoption Challenges," *IEEE Eng. Manag. Rev.*, vol. 48, no. 2, pp. 83–102, 2020, doi: 10.1109/EMR.2020.2987884.
- [30] N. Koroniotis, N. Moustafa, F. Schiliro, P. Gauravaram, and H. Janicke, "A Holistic Review of Cybersecurity and Reliability Perspectives in Smart Airports," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 209802–209834, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3036728.
- [31] D. H. Flórez-Martínez and C. P. Uribe-Galvis, "Fourth industrial revolution technologies for agriculture sector: A trend analysis in agriculture 4.0," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, no. July 2020, pp. 27–31, 2020, doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.11.
- [32] D. R. Spillane, J. Menold, and M. B. Parkinson, "Broadening participation in learning factories through industry 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 45, pp. 534–539, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.074.
- [33] A. Ghadge, M. Er Kara, H. Moradlou, and M. Goswami, "The impact of Industry 4.0 implementation



- on supply chains," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 31, no. 4, pp. 669–686, 2020, doi: 10.1108/JMTM-10-2019-0368.
- [34] K. A. Z. Ariffin and F. H. Ahmad, "Indicators for maturity and readiness for digital forensic investigation in era of industrial revolution 4.0," *Comput. Secur.*, vol. 105, p. 102237, 2021, doi: 10.1016/j.cose.2021.102237.
- [35] M. Holubčík, G. Koman, and J. Saviara, "Industry 4.0 in logistics operations," *Transp. Res. Procedia*, vol. 53, no. 2019, pp. 282–288, 2021, doi: 10.1016/j.trpro.2021.02.040.
- [36] T. Królikowski, B. Bałasz, and A. Ubowska, "Dynamics of changes in Poland in the light of the Industry 4.0," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 192, pp. 4128–4137, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.09.188.
- [37] A. Bousdekis, K. Lepenioti, D. Apostolou, and G. Mentzas, "A review of data-driven decision-making methods for industry 4.0 maintenance applications," *Electron.*, vol. 10, no. 7, 2021, doi: 10.3390/electronics10070828.
- [38] J. Posada *et al.*, "Computer graphics and visual computing use cases for Industry 4.0 and Operator 4.0," *Int. J. Simul. Multidiscip. Des. Optim.*, vol. 12, pp. 4–9, 2021, doi: 10.1051/smdo/2021026.
- [39] and T. K. M. Parto, P. D. Urbina Coronado, C. Saldana, "Cyber-Physical System Implementation for Manufacturing With Analytics in the Cloud Layer," *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, vol. 22, 2021.
- [40] J. Noguez *et al.*, "Vis-hapt: A methodology proposal to develop visuo-haptic environments in education 4.0," *Futur. Internet*, vol. 13, no. 10, pp. 1–20, 2021, doi: 10.3390/fi13100255.
- [41] V. J. Ramírez-Durán, I. Berges, and A. Illarramendi, "Towards the implementation of Industry 4.0: A methodology-based approach oriented to the customer life cycle," *Comput. Ind.*, vol. 126, 2021, doi: 10.1016/j.compind.2021.103403.
- [42] and I. F. Castelo-Branco, T. Oliveira, P. Simões-Coelho, J. Portugal, "Measuring the fourth industrial revolution through the Industry 4," *Comput. Ind.*, vol. 138, p. 103639, 2022.
- [43] G. Dubey, R. K. Gupta, S. Kumar, and M. Kumar, "Study of industry 4.0 pillars and their uses in increasing productivity and reducing logistics defects," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.335.
- [44] L. L. Har, U. K. Rashid, L. Te Chuan, S. C. Sen, and L. Y. Xia, "Revolution of Retail Industry: From Perspective of Retail 1.0 to 4.0," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, no. 2019, pp. 1615–1625, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.362.
- [45] A. Malik, M. I. Ul Haq, A. Raina, and K. Gupta, "3D printing towards implementing Industry 4.0: sustainability aspects, barriers and challenges," *Ind. Robot Int. J. Robot. Res. Appl.*, vol. 49, no. 3, pp. 491–511, Jan. 2022, doi: 10.1108/IR-10-2021-0247.
- [46] and R. V. S. C. Mana, B. Keerthi Samhitha, D. Deepa, "Analysis on Application of Fog Computing in Industry 4.0 and Smart Cities," *Lect. Notes Data Eng. Commun. Technol.*, pp. 87–105, 2021.

Sobre los autores

- **Karla Valentina Saavedra Salinas:** Estudiante de pregrado de ingeniería industrial. karla.saavedra@usantoto.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

