



# Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento

Año 10, Número 24, Artículo 10: 1-18. Enero - Diciembre 2022  
e-ISSN: 2007-8064

<http://revistas.unam.mx/index.php/entreciencias>



## El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras

The human factor and its role in the transition to Industry 5.0: a systematic review and future perspectives

DOI: 10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727  
e24.81727

Jorge Carro Suárez<sup>a\*</sup>   
<http://orcid.org/0000-0002-8464-2566>  
Susana Sarmiento Paredes<sup>b\*\*</sup>  
<http://orcid.org/0000-0003-1714-9066>

Fecha de recepción: 25 de enero de 2022.  
Fecha de aceptación: 8 de junio de 2022.  
Fecha de publicación: 28 de julio de 2022.

<sup>a</sup> Autor de correspondencia  
[jorge.carro@uptlax.edu.mx](mailto:jorge.carro@uptlax.edu.mx)

\* Universidad Politécnica de Tlaxcala  
\*\* Universidad Autónoma de Tlaxcala

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.  
CC-BY-NC-ND



## RESUMEN

**Objetivo:** determinar las funciones y habilidades requeridas por el factor humano como parte de su nuevo rol en la transición de Industria 4.0 a Industria 5.0

**Diseño Metodológico:** se realizó una revisión sistemática de literatura con base en un análisis bibliométrico en la base de datos Science Direct para examinar los hallazgos más relevantes de investigaciones que consideren al factor humano dentro de la transición de Industria 4.0 a Industria 5.0. Se complementó la revisión con el diseño de un marco de Teoría, Contexto, Características y Metodología (TCCM) para determinar las funciones y habilidades requeridas en el nuevo rol del ser humano durante dicha transición.

**Resultados:** a partir del diseño metodológico se observó que Industria 4.0 generó una nueva revolución industrial combinando técnicas avanzadas de manufactura con nuevas tecnologías digitales para incrementar la productividad, reducir la participación humana y por consecuencia, impulsar la competitividad. No obstante, también se identificó que estos nuevos procesos inteligentes todavía tienen limitaciones y que aún requieren de la supervisión del ser humano, de tal forma que estos dos elementos no pueden ser considerados independientes, sino que necesariamente deben complementarse entre sí.

**Limitaciones de la investigación:** el alcance de la investigación se limitó a un estudio exploratorio y descriptivo.

**Hallazgos:** dentro de los hallazgos más relevantes se destacan las funciones y habilidades requeridas por el factor humano en esta nueva era digital, así como la importancia de que el sector industrial lo considere como un eje sustantivo dentro del proceso de innovación y de desarrollo sustentable.

*Palabras clave: factor humano, Industria 5.0, innovación tecnológica, sustentabilidad empresarial.*

## ABSTRACT

**Purpose:** To determine the functions and skills required by the human factor as part of its new role in the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0

**Methodological design:** A systematic literature review was carried out based on a bibliometric analysis in the Science Direct database to examine the most relevant findings of research that consider the human factor within the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0. The review was complemented with the design of a framework of Theory, Context, Characteristics and Methodology (TCCM) to determine the functions and skills required in the new role of the human being during the transition.

**Results:** Based on the methodological design, it was observed that Industry 4.0 generated a new industrial revolution combining advanced manufacturing techniques with new digital technologies to increase productivity, reduce human participation and, consequently, boost competitiveness. However, it was also identified that these new intelligent processes still have limitations and still require human supervision in such a way that these two work forces cannot be considered independent but on the contrary must complement each other.

**Research limitations:** The scope of the research was limited to an exploratory and descriptive study.

**Findings:** Among the most relevant findings, the functions and skills required by the human factor in this new digital age are highlighted as well as the importance of the industrial sector considering it as a main axis within the process of innovation and sustainable development.

*Keywords: human factor, Industry 5.0, technological innovation, business sustainability.*

## INTRODUCCIÓN

El concepto de industria 4.0 forma parte de una transformación industrial donde tecnologías de información y de fabricación se han integrado en sistemas de manufactura, sistemas de gestión y en formas de hacer negocios innovadores para generar una nueva propuesta de valor para la sociedad (Javaid *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2021). Básicamente, se refiere a fábricas con maquinaria que utilizan sistemas autónomos e inteligentes que se conectan y comunican a través de sistemas computacionales sin ninguna intervención humana, permitiendo la interoperabilidad y la integración entre áreas y procesos con base en una interconectividad en tiempo real para mejorar la gestión de la calidad de procesos y productos (Ammar *et al.*, 2021; Karnik *et al.*, 2021). De tal forma que la industria 4.0 fue un punto de inflexión que permitió a las empresas contribuir y alcanzar un desarrollo económico con base en tecnologías digitales, infraestructura en TIC y en un nuevo compromiso por parte de la alta dirección (Jayashree *et al.*, 2021).

No obstante, a pesar de que la pandemia de la COVID-19 en 2020 obligó a la sociedad a adoptar esta transformación digital (Moosavi, Bakhshi y Martek, 2021), la implementación de la industria 4.0 todavía se encuentra en una etapa exploratoria por parte de muchas empresas en el mundo, las cuales aún no tienen claro cómo incorporar conceptos tecnológicos en sus procesos, debido a que sus capacidades no son del todo suficientes para adoptar plenamente estas tecnologías. Esto ha derivado en un largo proceso de ensayo que, en su mayoría, se desarrolla bajo el principio de prueba y error, demostrando la necesidad de una reeducación del personal para aprender a integrar la digitalización en sus procesos (Carrillo *et al.*, 2020; Castagnoli *et al.*, 2021). Sumado a esto, la escasez de trabajadores calificados, la resistencia interna de los empleados y las preocupaciones por la seguridad cibernética representan ahora nuevas barreras que pueden generar consecuencias negativas si la alta dirección no está preparada para asimilarlas (Surange *et al.*, 2021). Ante este panorama el sector industrial debe reinventarse y adaptarse a esta realidad con la adopción no sólo de tecnologías digitales, sino también de tecnologías ecológicas, bajo el supuesto de que la industria 4.0 se enfoca más en la digitalización y en tecnologías disruptivas que en la justicia social y la

sostenibilidad (Xu *et al.*, 2021). Derivado de lo anterior, la Unión Europea en enero de 2021 presentó su propuesta de cómo se puede implementar la tecnología para respaldar y fortalecer la interacción entre industria y sociedad, con el fin de que las empresas estén mejor preparadas para el futuro, sean más resilientes y sostenibles, y estén más centradas en el ser humano. De esta forma, se dio inicio a la quinta revolución industrial, la cual se denominó “Industria 5.0” (Breque, De Nul y Petridis, 2021).

En este nuevo concepto la digitalización ofrece grandes y nuevas oportunidades, tales como lograr innovaciones radicales, optimizar la interacción entre máquinas y humanos y capitalizar el valor agregado que el trabajador humano aporta al proceso y al producto (Comisión Europea, 2021). De tal forma que, mientras la industria 4.0 se visualizó y consideró impulsada sólo por la tecnología, la industria 5.0 se considera impulsada por la creación de valor (Xu *et al.*, 2021). Por lo que la industria 5.0 reconoce y resalta el poder de la industria para alcanzar objetivos sociales, para convertirse en un proveedor de prosperidad y para exigir el respeto de nuestro planeta, ubicando como parte central del proceso de producción el bienestar del trabajador (Comisión Europea, 2021).

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las funciones y habilidades requeridas por el factor humano como parte de su nuevo rol en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0. Para tal fin, siguiendo la metodología propuesta por Castagnoli *et al.* (2021), se inició con el estado del arte, planificando la revisión de una forma sistemática, rigurosa, transparente y reproducible a través de una revisión basada en dominios (Paul y Criado, 2020). Posteriormente, se realizó una revisión sistemática de la literatura por medio de un análisis bibliométrico en la base de datos *Science Direct* que permitió identificar los hallazgos de investigaciones recientes sobre la relación de factor humano, industria 4.0 e industria 5.0 en un periodo comprendido de 2016 a agosto de 2021, complementando la revisión con el marco de teoría, contexto, características y metodología (TCCM). Finalmente, se concluyó con el análisis de la información recabada para proponer las funciones y habilidades como parte del rol del factor humano para su integración en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0.

Derivado de esto, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son las funciones y habilidades requeridas por el factor humano como parte de su nuevo rol en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0?

Se destacan tres principales aportaciones del estudio. Primero, la identificación del nuevo rol que tendrá el personal de las industrias ante la nueva revolución digital. Segundo, destacar la importancia de que el factor humano sea considerado como un elemento significativo en el proceso de innovación que conlleve al desarrollo e implementación de tecnología sustentable. Tercero, promover y preparar el camino para futuras investigaciones que visualicen la transición y consolidación de la industria 5.0. Por lo que el estudio integra el conocimiento y hallazgos de investigaciones anteriores y proporciona una nueva perspectiva que conjugue tecnología, factor humano y sustentabilidad.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### El factor humano en el sector industrial

El concepto “factor humano” se define como la parte pensante que ayuda a determinar y lograr las metas y objetivos de las empresas y organizaciones (Prieto, 2008). Asimismo, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, por sus siglas en inglés) en su reporte correspondiente al Índice Mundial de Innovación en 2014 lo reconoce como el motor fundamental detrás de cualquier proceso asociado a la innovación en correlación con la educación y tecnología. En su relación con la educación argumenta que el capital humano de un país se puede preparar de dos formas principales. Primero, cada nación crea su propia infraestructura académica para facilitar el conocimiento a su población en diversas áreas tecnológicas y no tecnológicas acorde a sus recursos. Segundo, un país puede atraer capital humano de calidad de otras partes del mundo para emplearlo como agente capacitador y para aprovecharlo en diversas áreas de su interés. Asimismo, Naciones Unidas en los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Agenda 2030 (ODS) también reconoce la necesidad de garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad que permita mejorar la calidad de vida de las personas, acceder a empleos dignos y que estimule una economía que sea amigable con el medio ambiente (Naciones Unidas, 2015).

Con relación a la tecnología, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (2014) menciona que el factor humano debe estar directamente relacionado con ella, de tal forma que la tecnología emergente no venga a sustituirlo, sino que sea un medio para apoyarlo en su desempeño. En este contexto ya se han desarrollado diversas propuestas que no sólo han buscado impulsar el desarrollo tecnológico, sino también enfocarlo hacia las personas. Entre las más recientes se destaca el concepto sociedad 5.0, generado en Japón en 2016, en el cual se estableció el nacimiento de una sociedad que pueda converger entre el espacio virtual y el espacio físico, donde las tecnologías disruptivas tanto de la industria 4.0 como las TIC, el internet de las cosas, los robots, la inteligencia artificial y la realidad aumentada se utilicen activamente y sean parte de la vida cotidiana de la sociedad, siendo reconocidas no por el hecho de que sean una ventaja económica, sino por la comodidad y el beneficio que puedan representar tanto para las personas como para el medio ambiente (Comisión Europea, 2021). Otro concepto destacado fue operador 4.0, como una línea de investigación que permitiera comprender cómo las capacidades físicas, cognitivas y sensoriales de un operador podrían mejorarse mediante la automatización (Fast-Berglund y Thorvald, 2021). En él se idealizó al factor humano como un operador inteligente, donde además de realizar trabajo colaborativo con robots también realiza trabajo asistido por máquinas a través de ciberfísica humana y automatización adaptativa (Romero *et al.*, 2016). Paralelamente nació el término *cobot* o robot colaborativo como parte de una nueva tecnología con la capacidad de interactuar con el ser humano en un ambiente laboral, situación que muchas empresas ya están adoptando. No obstante, esta relación en muchas organizaciones sigue siendo incipiente, por lo que el personal humano debe ser capacitado en las nuevas tecnologías digitales para que este nuevo desafío no le cause estrés e incertidumbre en su desempeño profesional.

La pandemia de la COVID-19 demostró al mundo que a pesar de que el factor humano es el recurso más ágil y flexible, también es el más frágil por su misma humanidad, por lo que el concepto de operador 4.0 evolucionó a operador resiliente 5.0, valorando la resiliencia del operador humano y su integración a nuevos sistemas inteligentes y resilientes derivados de situaciones inesperadas o bajo incertidumbre (Breque *et al.*, 2021),

así como el concepto *hospitality 5.0*, con la inclusión de tecnologías que garanticen la higiene y limpieza en la atención al ser humano y en el cuidado de su salud a través de una sinergia entre humanos y máquinas (Pillai *et al.*, 2021). El desarrollo industrial ha empezado a visualizarse desde una nueva perspectiva centrada en el ser humano y en su relación con las tecnologías emergentes (Romero y Stahre, 2021), lo cual requiere del desarrollo de funciones y habilidades que vayan a la par con las nuevas tecnologías que irán surgiendo en el futuro.

### El factor humano en la industria 4.0

La industria 4.0 nació en 2011 ante la necesidad de convertir maquinaria normal en maquinaria inteligente con capacidad de aprendizaje para mejorar su rendimiento (Lee, Kao y Yang, 2014). Se le consideró también como la fase de digitalización del sector manufacturero impulsada por cuatro disrupciones: el asombroso aumento de la información por medio de datos, mayor potencia en la conectividad y nuevas herramientas computacionales, el surgimiento de nuevas capacidades de análisis e inteligencia empresarial y nuevas formas de interacción hombre-máquina con grandes mejoras en la transferencia de instrucciones digitales en el mundo físico (Lee *et al.*, 2013). De tal forma que el seguimiento de datos en tiempo real, el estado y posición del producto y el mantenimiento automático para controlar los procesos de producción se convirtieron en sus principales características (Vaidya, Ambad y Bhosle, 2018).

Al mismo tiempo, la automatización en los procesos de fabricación alcanzó otros niveles mediante la introducción de tecnologías flexibles de producción en masa, donde la maquinaria se convirtió en una entidad independiente que no requiere de la aportación y supervisión humana (Kagermann, 2013). Dichas tecnologías fueron representadas por 9 pilares (los cuales se muestran en la tabla 1) con funciones específicas que mejoraron los procesos productivos, optimizaron los recursos disponibles y, en algunos casos, perfeccionaron y/o reemplazaron la acción humana.

**Tabla 1. Pilares de la industria 4.0 y su funcionalidad en las empresas**

Pilar	Funciones específicas en la industria 4.0
Big data	Recopilación y evaluación de datos a alta velocidad y precisión de diversas fuentes, equipos y sistemas de producción, así como de sistemas empresariales para respaldar la toma de decisiones en el tiempo (Rubmann <i>et al.</i> , 2015).
Robot autónomo	Desarrollo de tareas repetitivas, peligrosas o de alta precisión de forma inteligente, con énfasis en la seguridad, flexibilidad, versatilidad y colaboración (Bahrin <i>et al.</i> , 2016).
Simulación	Aprovechamiento de datos en tiempo real para reflejar el mundo físico en modelos virtuales con el objetivo de reducir costos y tiempos, así como para aumentar la productividad (Rubmann <i>et al.</i> , 2015).
Integración de sistemas	Mejoramiento de la integración entre las áreas y los procesos de la compañía para intercambiar información de manera más rápida y eficiente. De esta forma la toma de decisiones se vuelve más sencilla y precisa (SignalsIoT, 2019).
Internet de las cosas	Comunicación a través de protocolos estándar por medio de una red mundial de objetos direccionados e interconectados entre sí para un mayor procesamiento, almacenamiento, comunicación y automatización de procesos y productos físicos (Hozdic, 2015).
Ciberseguridad	Protección de sistemas industriales críticos, así como de las líneas de fabricación que fundamentan su desarrollo en el uso de conectividad y protocolos de comunicación estándar (Rubmann <i>et al.</i> , 2015).
La nube	Disposición de computadoras y servidores de forma virtual para almacenamiento, acceso y uso de recursos informáticos –como software y plataformas digitales– que están en la red sin necesidad de tener equipo de forma física, con la capacidad de conectarse desde cualquier lugar con diferentes dispositivos para compartir información y documentos de forma remota (Asociación Clúster de Automoción de Navarra [ACAN], 2017).
Manufactura aditiva	Producción de productos personalizados que ofrezcan ventajas competitivas con la fabricación de prototipos propios o de componentes individualizados en menor tiempo (Rubmann <i>et al.</i> , 2015).
Realidad aumentada/virtual	Mezclar el contenido digital con el mundo físico para construir una realidad mixta en tiempo real que pueda dar vida a un ítem estático, enriquecer la información, realizar simulaciones y ofrecer un aprendizaje interactivo (ACAN, 2017).

Fuente: elaboración propia.

Estos pilares contribuyeron a la creación de tres factores mutuamente interconectados: la digitalización e integración de técnicas y factores económicos; la digitalización de la oferta de productos y servicios y la creación de nuevos modelos de mercados digitales (Zezulka *et al.*, 2016). No obstante, aunque ha existido un acuerdo común sobre la creciente necesidad de continuar con el desarrollo tecnológico y su implementación en nuevos modelos de negocios, un obstáculo importante radica en la percepción y complejidad que se tiene en la sociedad sobre lo que representa la industria 4.0, cómo adoptarla

para la práctica industrial, cómo incluir el factor humano en lugar de excluirlo y cómo evaluar su aplicabilidad (Erol *et al.*, 2016).

En este último punto, el Foro Económico Mundial, a través del *Network Readiness Index* [NRI] (Portulans Institute, 2021), proporciona un marco metodológico por medio de cuatro pilares (tecnología, personas, gobernanza e impacto) que reconoce las aplicaciones y avances en tecnología digital de 130 economías nacionales. En el informe de 2021 describe cómo la tecnología y las personas necesitan integrarse en una gobernanza eficaz para tener el impacto adecuado en la economía, sociedad y medio ambiente, reconociendo que a pesar de que la tecnología digital está cambiando nuestras vidas de una forma vertiginosa todavía existen brechas de acceso a ella en diversas regiones y economías en el mundo. A pesar de ello, tanto las economías emergentes como las desarrolladas han mostrado iniciativa para reducir la brecha digital y promover un acceso más equitativo. Estados Unidos y Corea del Sur han mostrado liderazgo para promover la conectividad a través de iniciativas como internet satelital y 5G. China es ahora un líder mundial en áreas clave como inteligencia artificial, comercio electrónico, 5G y calidad de la educación. África sigue a la zaga de otras regiones, especialmente en lo que respecta al acceso, la asequibilidad y el uso de las tecnologías digitales. El NRI 2021 también confirma que las economías desarrolladas en Europa, parte de Asia y el Pacífico y América del Norte son las sociedades más preparadas en tecnologías digitales. Prueba de ello es la tabla 2, donde se muestran los 3 líderes por cada región con su respectiva posición en el ranking global (Portulans Institute, 2021).

**Tabla 2. Países líderes por región del NRI**

África	Estados Árabes	Asia y Pacífico	Comunidad de Estados Independientes	Europa	América *
Sudáfrica (70)	Emiratos Árabes Unidos (34)	Singapur (7)	Federación Rusa (43)	Países Bajos (1)	Estados Unidos (4)
Mauricio (71)	Arabia Saudita (40)	Corea del Sur (12)	Armenia (60)	Suecia (2)	Canadá (11)
Kenia (84)	Qatar (42)	Australia (13)	Kazajistán (61)	Dinamarca (3)	Chile (44)

Nota: \* México se ubica en la posición 8 en América y 59 a nivel global.  
Fuente: elaboración propia con datos del NRI (Portulans Institute, 2021).

Este análisis nos hace ver la necesidad de reconocer que la interacción hombre-máquina todavía es un factor

relevante que influye en la condición y el rendimiento de la tecnología misma, ya que decir que un sistema es inteligente no es garantía de contar con la capacidad de poder sugerir arreglos de tareas y ajuste de parámetros para maximizar la productividad y la calidad del producto de forma independiente. Gran parte de las máquinas actuales sólo pueden confirmar pasivamente los comandos programados y concluir la acción incluso cuando la tarea asignada no sea óptima para su condición y seguridad, por lo que la parte humana sigue siendo requerida para este tipo de situaciones hasta que la inteligencia artificial pueda ser una solución confiable en el futuro (Lee *et al.*, 2014; Costello, Kent y Kopacek, 2019). La industria 4.0 nació para beneficiar el desarrollo de tecnología, sin embargo, también podría de forma implícita mejorar diversas capacidades en los trabajadores como la capacidad virtual, capacidad inteligente, capacidad colaborativa, capacidad social y capacidad analítica; condiciones determinantes para adaptarse a la sociedad actual (Dornelles, Ayala y Frank, 2021), por lo que en la evolución de las nuevas tecnologías digitales el factor humano nuevamente tomará relevancia.

### Industria 5.0 y la integración del factor humano

Todavía no hay una visión muy clara sobre lo que representa y significa la industria 5.0, lo que genera confusión y desacuerdo (Wheeler, 2021). Sin embargo, se le ha empezado a relacionar con el desarrollo exponencial de la robótica y de la inteligencia artificial (IA) a través de dos enfoques: el primero, es el trabajo en conjunto con el ser humano (Demir, Döven y Sezen, 2019) donde la colaboración activa y el trabajo en sincronía entre el robot y los empleados humanos les permite complementarse mutuamente, combinando la capacidad creativa del ser humano, su experiencia y juicio con la fuerza de trabajo del robot (Østergaard, 2018). Se habla de una colaboración entre humanos y máquinas, donde el toque creativo por la parte humana será más determinante que la producción robótica en masa automatizada (Gottfredsen, 2016); el segundo, se refiere a la bioeconomía, como el uso inteligente de recursos biológicos para propósitos industriales en la búsqueda de equilibrio entre la ecología, la industria y la economía, es decir, priorizar la sustentabilidad (Demir y Cicibas, 2017). El far

*et al.* (2021) mencionan que, ante la demanda de fuentes de energía limpias, asequibles y sostenibles debido a la creciente limitación en el suministro de combustibles fósiles, el uso de bioenergía o biocombustibles representa una nueva alternativa de fuentes de energía verde.

En otro contexto, Sachsenmeier (2016) relacionó la industria 5.0 con el desarrollo de la biónica, como la imitación o abstracción de las invenciones de la naturaleza y con el concepto “*white biotechnology*” como el uso de nuevos procesos, nuevas materias primas y un manejo más sostenible de los recursos naturales.

Por otra parte, Muller (2020) identificó seis tipos de tecnologías disruptivas relacionadas con la industria 5.0:

- 1) Tecnologías centradas en el ser humano y de interacción humano-máquina que interconecten y combinen sus principales fortalezas.
- 2) Tecnologías bioinspiradas y materiales inteligentes.
- 3) Tecnologías digitales basadas en tiempo real para simulación y modelado de sistemas complejos.
- 4) Tecnologías de transmisión, almacenamiento y análisis de datos cibernéticos.
- 5) Inteligencia artificial.
- 6) Tecnologías para la eficiencia energética y autonomía confiable.

Con estas tecnologías se busca empoderar al sector industrial para alcanzar objetivos sociales que lo conviertan en un proveedor de prosperidad centrado en tres valores: el ser humano, anteponiendo sus necesidades e intereses, ubicándolo como el corazón del proceso de producción (Lu *et al.*, 2021); la sostenibilidad, desarrollando procesos circulares que reutilicen y reciclen los recursos naturales, que reduzcan residuos y el impacto ambiental con una mejor eficiencia; y la resiliencia, preparando a las empresas y sociedad contra disrupciones y eventos impredecibles en tiempos de crisis e incertidumbre (Breque *et al.*, 2021). De tal forma que la industria 5.0 es vista ahora como un nuevo motor de innovación para la generación de valor que hace más eficiente la producción y al mismo tiempo la hace más sostenible (De los Santos, 2021).

De forma implícita, también incluye a los ODS de la Agenda 2030, en especial, el objetivo 8, promoviendo un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible con un empleo digno y decente. Así como el objetivo 9 impulsando la industrialización inclusiva y sostenible, fomentando la innovación para la creación de una in-

dustria más productiva, inclusiva y menos contaminante (Naciones Unidas, 2015).

De acuerdo con Johansson (2017), el hecho de que dos revoluciones industriales estén tan cercanas en el tiempo da la posibilidad de considerarlas todavía como una sola que se va actualizando y perfeccionando con base en su propio desarrollo.

Si bien la industria 4.0 se enfocó en presentar a la producción inteligente, las redes de internet, sensores, drones y demás tecnologías digitales; la industria 5.0 se visualiza con una proyección diferente gracias a la personalización masiva y al diseño de nuevas experiencias tecnológicas (Castro, 2021).

Cabe reconocer que la industria 5.0 de cierta forma complementa y amplía a la industria 4.0, haciendo énfasis en factores que no solo son económicos o tecnológicos, sino también ambientales y sociales. Por lo que no debe visualizarse como una alternativa a los paradigmas existentes sobre la industria 4.0, sino como el resultado de un ejercicio prospectivo para que pueda coexistir la industria con las tendencias y necesidades emergentes que requiere la sociedad actual y futura (Breque *et al.*, 2021).

La necesidad de recopilar más conocimientos y una mejor comprensión del papel que juega el factor humano en conjunto con la tecnología es fundamental. Por lo que preparar al personal de las empresas y sociedad en general a través de una educación, capacitación y motivación adecuadas en escuelas, universidades, empresas, sociedad civil y el propio gobierno es el gran desafío que enfrentarán las nuevas generaciones en esta nueva era digital.

## METODOLOGÍA

Con base en la teoría analizada, para el desarrollo del presente trabajo se planteó una investigación con alcance exploratorio, ya que se buscó determinar una tendencia, la evolución conjunta en los últimos 5 años de la industria 4.0 a la industria 5.0, que permitiera conformar una base teórica que pueda ser el sustento de futuras investigaciones. Asimismo, tiene un alcance descriptivo, ya que se pretendió especificar las funciones que requiere el factor humano y, en consecuencia, las habilidades requeridas en las empresas para implementar

exitosamente un concepto, en este caso, industria 5.0 (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Para tal fin, se inició con una selección de artículos basada en dominio a través de una revisión bibliométrica del tipo descriptivo-retrospectivo, lo cual permitió la selección y organización de información (Lledó y Galiano, 2018). Se realizó un estudio de búsqueda, selección, lectura y análisis de artículos en inglés en la base de datos Science Direct considerando el periodo de 2016 a agosto de 2021. Para garantizar la calidad, fiabilidad y validez de cada investigación analizada, se verificó que el *journal* en el cual fue publicado el manuscrito seleccionado contara con factor de impacto, que es considerado por la comunidad científica como el único indicador de calidad para la producción científica en el mundo (Elsevier Connect, 2018). Para organizar la información se relacionaron las tres variables de investigación bajo las siguientes líneas de código: “INDUSTRY 4.0” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”

Posteriormente, se relacionó cada pilar de la industria 4.0 con la industria 5.0 y el factor humano a través de los siguientes códigos: “BIG DATA” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “ROBOT” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “SIMULATION” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “SYSTEM INTEGRATION” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “INTERNET OF THINGS” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “CYBERSECURITY” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “THE CLOUD” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”, “ADDITIVE MANUFACTURING” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR” y “AUGMENTED REALITY” AND “INDUSTRY 5.0” AND “HUMAN FACTOR”.

Para la búsqueda se restringió a los artículos de revisión e investigación, así como a libros y capítulos de libro escritos en inglés durante el periodo comprendido de 2016 a agosto de 2021. Se exportaron los contenidos en archivos con formato BibTex.

Para el análisis de estos archivos se utilizó el paquete Bibliometrix con su software RStudio y su plataforma de búsqueda y análisis en línea Biblioshiny, con el objetivo de seleccionar y ordenar por relevancia la información obtenida.

Para el caso de revisiones basadas en temas o tópicos determinados, el uso de un marco teoría-contexto-características-metodología (TCCM) es uno de los más

recomendados (Paul y Rosado-Serrano, 2019). Por lo que esta técnica de revisión permitió identificar desde un punto de vista teórico la temática actual y pertinente sobre las investigaciones realizadas que relacionan a las variables de investigación. A través del contexto se definió la relación de las variables de investigación con las dimensiones de desarrollo sustentable y su aplicación, que es parte de la propuesta del estudio. Dentro de las características se analizaron cada uno de los pilares de la industria 4.0 para determinar su alcance, evolución y aplicación en su transición a la industria 5.0. Finalizando con la metodología para resaltar las técnicas de estudio que han permitido identificar las más recientes aportaciones científicas sobre las variables de aplicación.

Con base en esta revisión se realizó una propuesta, presentando las funciones y habilidades requeridas para integrar al factor humano en la transición a la industria 5.0 y así dar respuesta a la pregunta de investigación planteada.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Revisión bibliométrica

Los resultados del análisis bibliométrico con base en las líneas de código introducidas en la base de datos Science Direct se muestran con detalle en la tabla 3.

En la tabla 4 se muestra cuántos trabajos fueron publicados por año con base en cada código establecido.



**Tabla 3. Resultados de la revisión bibliométrica**

Código	Artículos de revisión	Artículos de investigación	Capítulos de libro	Total
1. "INDUSTRY 4.0" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	3	11	0	14
2. "BIG DATA" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	0	7	0	7
3. "ROBOT" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	2	10	0	12
5. "SIMULATION" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	2	9	0	11
6. "SYSTEM INTEGRATION" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	1	3	0	4
7. "INTERNET OF THINGS" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	1	8	0	9
8. "CYBERSECURITY" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	1	6	0	7
9. "THE CLOUD" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	2	8	0	10
10. "ADDITIVE MANUFACTURING" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	1	5	0	6
11. "AUGMENTED REALITY" AND "INDUSTRY 5.0" AND "HUMAN FACTOR"	2	6	0	8

Fuente: elaboración propia con base en resultados de Science Direct.

**Tabla 4. Producción científica por año**

Código	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	0	0	1	1	1	11
2	1	0	1	0	4	7
3	0	0	1	1	1	7
4	0	0	1	0	1	7
5	0	0	1	0	0	4
6	0	0	1	0	1	5
7	0	0	1	1	0	5
8	0	0	1	0	1	7
9	0	0	1	0	0	5
10	0	0	1	0	1	6
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>64</b>

Fuente: elaboración propia con base en resultados de Biblioshiny.

En el análisis bibliométrico se identificaron 88 publicaciones que relacionan a la industria 4.0 así como a sus pilares con los conceptos industria 5.0 y factor humano, se observa que fue a partir del año 2018 que se incrementó la investigación en relación a estas tres variables en conjunto, siendo todos estos trabajos los considerados para este estudio.

Para el desarrollo del marco TCCM, la primera opción para jerarquizar el análisis fue considerar aquellos artículos más citados por año. Sin embargo, al tratarse de un tema de reciente interés en los últimos cuatro años donde aún no existe un dato exacto del número de citas que los trabajos han recibido, se consideró la relevancia que la base de datos Science Direct asignó a cada manuscrito. En las siguientes secciones se presentan los hallazgos más relevantes identificados en la literatura.

### Teoría

La revisión sistemática de la literatura mostró que los trabajos analizados se enfocan principalmente en dos vertientes: nuevas aplicaciones y nuevas tecnologías. Las anotaciones teóricas más relevantes de estos trabajos de investigación se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5. Marco teórico del TCCM**

Vertientes	Autor/Autores, Año	Anotaciones teóricas
Nuevas aplicaciones de la industria 5.0	Maddikunta et al., 2021; Thakur y Sehgal, 2021; Elfar et al., 2021; Demir et al., 2019; Shahbakhsh, Emmad y Cahoon, 2021; Pillai et al., 2021; Del Giudice et al., 2021; Foresti et al., 2020; Ammar et al., 2021; Javaid y Haleem, 2019; Yin et al., 2020; Qiao et al., 2021; D'Olivo y Karana, 2021; Barata, 2021; Meindl et al., 2021.	Atención médica inteligente; fabricación en la nube; producción individualizada; computación cognitiva; inteligencia artificial; fuentes de energía limpias; transformación digital en la industria; materiales inteligentes; inteligencia artificial para el manejo de datos; desarrollo de algoritmos; aprendizaje automático; fabricación inteligente.
	Maddikunta et al., 2021; Thakur y Sehgal, 2021; Elfar et al., 2021; Sujith et al., 2021; Agouzoul et al., 2021; Bhatti, Mohan y Singh, 2021.	Robots colaborativos; blockchain; redes 6G; sistemas ciberfísicos inteligentes; bioenergía; biodiseño; automóviles autónomos, eléctricos e inteligentes; sensores, actuadores y controladores habilitados por IP; deep learning; machine learning; gemelos digitales.

Fuente: elaboración propia.

## CONTEXTO

El sector industrial ha experimentado una creciente influencia por incorporar la sustentabilidad dentro de su contexto y cultura empresarial, siendo la implementación en sus procesos uno de sus principales retos (Niehoff y Beier, 2018). Por ello, dentro del contexto, en la tabla 6 se identificaron las aplicaciones más relevantes en materia de desarrollo sustentable en sus dimensiones social (beneficios para la sociedad y su entorno), económica (inversión verde) y ambiental (prevención de la contaminación y gestión de recursos naturales).

**Tabla 6. Marco contextual del TCCM**

Tipo	Autor/Autores, Año	Aplicaciones
Social	Thakur y Sehgal, 2021; Romero y Stahre, 2021; Pillai <i>et al.</i> , 2021; Emeric, Geoffroy y Paul-Eric, 2020; Gazzaneo, Padovano y Umbrello, 2020.	Aplicaciones industriales (petróleo, fertilizantes, papel, cemento, exploración espacial, fabricación de automóviles); Integración de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS); análisis de problemas relacionados con el trabajo conjunto entre humanos y robots; operador 4.0; operador resiliente 5.0; hospitality 5.0.
Económico	Thakur y Sehgal, 2021; Narula <i>et al.</i> , 2021; Agouzoul <i>et al.</i> , 2021; Wang, Xu y Ren, 2019; Seferlis <i>et al.</i> , 2021.	Integración de procesos híbridos (eléctrica-neumática-hidráulica); Integración de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS); influencia directa del desarrollo tecnológico sobre el desempeño económico de las empresas; mejoras del consumo energético a través de gemelos digitales que reflejen con precisión el consumo de energía en tiempo real; transformación de energía tradicional a energía limpia.
Ambiental	Elfar <i>et al.</i> , 2021; Shahbakhsh <i>et al.</i> , 2021; Schütte, 2018; Johansen y Rönnbäck, 2021; Kopacek, 2021; Wang, Xu y Ren, 2019; Seferlis <i>et al.</i> , 2021.	Integración de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS); seguridad, eficiencia y sustentabilidad ambiental; bioeconomía como el uso selectivo de recursos biológicos con fines industriales para ayudar a conciliar exitosamente la economía y la ecología; gestión eficiente de recursos bajo el proceso de rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, reacondicionar, reciclar y recuperar.

Fuente: elaboración propia.

## Características

De cara al futuro, diversas investigaciones consideran a la industria 5.0 como la siguiente revolución industrial (Maddikunta *et al.*, 2021; Thakur y Sehgal, 2021; Shahbakhsh *et al.*, 2021). Por lo que en esta sección se identificaron las características de los temas más investigados sobre cada uno de los pilares de la industria 4.0,

para así poder determinar los campos de aplicación que podrían ser requeridos en el futuro, tal como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7. Marco de características del TCCM**

Pilares de la industria 4.0	Autor/autores, año	Características de los temas más investigados
Big data	Foresti <i>et al.</i> , 2020; Goel <i>et al.</i> , 2020; Shariati <i>et al.</i> , 2020; Iyer, 2021; Crawford <i>et al.</i> , 2021; Ghosh <i>et al.</i> , 2021.	Inteligencia artificial para administrar y extraer una masiva cantidad de datos. Programación y análisis de datos mediante aplicaciones inteligentes, así como aprendizaje automático y desarrollo de algoritmos.
Robots autónomos	Doyle-Kent y Kopacek, 2021; Demir <i>et al.</i> , 2019; Qiao <i>et al.</i> , 2021; Emeric, Geoffroy y Paul-Eric, 2020; Cebollada <i>et al.</i> , 2021.	Robótica colaborativa donde humanos y robots trabajan en armonía; drones y robots de montaje para fabricación inteligente y desarrollo de vehículos autónomos y transporte inteligente; construcción de modelos del entorno (mapeo), estimación de posiciones (localización) y control de movimiento (navegación).
Simulación	Tabaa, Brahmi y Chouri, 2021.	Manejo de espacios virtuales vinculados con el mundo físico real, contribuyendo a la digitalización industrial y a la creación de fábricas inteligentes conectadas entre sí.
Integración de sistemas	Emeric, Geoffroy y Paul-Eric, 2020; Seferlis <i>et al.</i> , 2021.	Integración de maquinaria, AGV, robots, cobots con nuevas herramientas tales como IoT, RFID e IA; Integración de materiales energéticos como mecanismos de conversión de energía, mitigación de emisiones y almacenamiento de energía.
Internet de las cosas	Karnik <i>et al.</i> , 2021; Brunner y Wolfartsberger, 2020; Javaid y Haleem, 2019; Qiao <i>et al.</i> , 2021; Tecktüfekci, 2019; Khan <i>et al.</i> , 2020; Nakayama, Spinola y Silva, 2020; Ghosh <i>et al.</i> , 2021; Omolara <i>et al.</i> , 2021.	Interconectividad en tiempo real; conectividad e intercambio de datos con la implementación de software, sensores, robots y TIC avanzadas; comunicación móvil para la transmisión de información en sistemas de transporte inteligente; implementación de e-documents (documentos electrónicos), e-ledger (libros de contabilidad electrónicos), e-accounting (contabilidad electrónica);
Ciberseguridad	Omolara <i>et al.</i> , 2021.	protección ante delitos cibernéticos debido al desarrollo exponencial del internet.
La nube	Aheleroff <i>et al.</i> , 2021; Goel <i>et al.</i> , 2020.	Capacidades de fabricación a gran escala de productos individualizados y fabricados con tecnología 3D; seguimiento sistemático en tiempo real del flujo de datos durante su análisis continuo en el área de operación.
Manufactura aditiva	Velu <i>et al.</i> , 2021; Aheleroff <i>et al.</i> , 2021; Ashima <i>et al.</i> , 2021.	Técnicas basadas en láser para producir piezas metálicas aplicando técnicas de deposición de energía dirigida (DED) asistidas por láser; personalización masiva centrada en productos fabricados de forma única para personas a escala; materiales inteligentes para impresión 3D masiva.
Realidad aumentada/virtual	Brunner y Wolfartsberger, 2020; Cebollada <i>et al.</i> , 2021.	Desarrollo de productos, presentación de productos y soporte remoto; mapeo, localización y exploración por medio de ambientes virtuales.

Fuente: elaboración propia.

## Metodología

Los trabajos analizados utilizaron diferentes técnicas de estudio con metodologías que ofrecen valiosas aportaciones en diversos campos de aplicación. En la tabla 8 se muestran las técnicas de estudio y/o análisis más aplicadas con base en los temas desarrollados y relacionados con las variables de investigación.

**Tabla 8. Marco de metodología del TCCM**

Técnica de estudio/análisis como metodología	Temas desarrollados
Revisión sistemática	Arquitectura emergente para sistemas ciberfísicos inteligentes heterogéneos para la industria 5.0; industria 5.0 y coworking humano-robot; una revisión del aprendizaje automático para el despacho inteligente de nueva generación en sistemas de energía; un análisis bibliométrico de las aplicaciones en Turquía de contabilidad electrónica centradas en la industria 4.0.
Casos de estudio	Adopción de la robótica colaborativa en la industria 5.0. Un estudio de caso de la industria irlandesa; revoluciones industriales y transición de la industria marítima: el caso del papel de la gente de mar en el transporte marítimo autónomo; personalización masiva como servicio en la industria 4.0: un estudio de caso de respuesta resiliente; hacia un modelo de gemelo digital para la gestión energética de edificios: caso de Marruecos; minería de carbón inteligente y ecológica, así como tecnología de utilización limpia en China: revisión y perspectivas.
Aplicaciones industriales	Perspectivas de la industria 5.0 en algas: personalización de la producción y nueva tecnología avanzada para la generación de bioenergía limpia; fabricación aditiva de metal asistida por láser y pos-procesamiento: una revisión exhaustiva; aplicaciones de la industria 4.0 en el campo médico; contribución a la implementación de una plataforma de digitalización industrial para detección de nivel; aplicaciones habilitadas por IA hacia el transporte inteligente.
Estudios	Industria 5.0: una encuesta sobre tecnologías habilitadoras y aplicaciones potenciales; hacia el operador resiliente 5.0: el futuro del trabajo en sistemas inteligentes de fabricación resilientes; COVID-19 y hospitalidad 5.0: redefiniendo las operaciones de hospitalidad; hacia el enfoque centrado en el ser humano. Aplicabilidad de las tecnologías de la industria 4.0 en la adopción de estándares de iniciativas de informes globales para lograr la sostenibilidad.

Fuente: elaboración propia.

La información recabada a través del marco TCCM reveló aspectos muy interesantes. En primera instancia, y como se mencionó previamente, se identificó que las tendencias en tecnología digital siguen enfocadas hacia el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones industriales, con especial atención en el manejo e interpretación de datos, inteligencia artificial y desarrollo de energías limpias. También se identificó un creciente

interés en aplicaciones con enfoques sustentables, resaltando la importancia de integrar los ODS, de considerar el bienestar de la sociedad, así como la protección del medio ambiente por medio de innovaciones para reducir el consumo energético y fomentar el uso de fuentes de energías renovables. Sin embargo, sobre los pilares de la industria 4.0 se observó que las investigaciones se realizan principalmente en el desarrollo de las aplicaciones digitales para manejo de datos, redes y almacenamiento, dando menos relevancia a la seguridad y a los espacios virtuales. Por otra parte, consideran muy poco la integración del factor humano, aunque la tecnología de robots autónomos y de manufactura aditiva ya toman en cuenta aspectos como el trabajo colaborativo entre humanos y máquinas o el resurgimiento de la producción personalizada bajo la gestión del ser humano. No obstante, se identifica también que la inteligencia artificial, el manejo de espacios virtuales y la evolución de redes digitales de comunicación e interconectividad están tomando mayor relevancia, postulándose como las tecnologías más disruptivas para los próximos años.

Con base en los resultados del análisis se identificó que este proceso de transición establece nuevas funciones, mismas que demandan el fortalecimiento y desarrollo de habilidades en el capital humano del sector empresarial, las cuales se describen a continuación:

- Gestión, administración, protección y vigilancia de datos y redes de comunicación por medio de herramientas tecnológicas.
- Ante el exorbitante contenido de datos en las redes es imperativo poder gestionar datos e información a través de recopilar, analizar, publicar, volver a analizar, criticar, reutilizar datos, categorizar, identificar y proteger datos relevantes y confiables para la organización (Tammaro y Casarosa, 2014). Aunado a esto, el internet de las cosas se ha expandido de forma exponencial en las ciudades, industria y sociedad, lo que ha derivado también en el aumento de riesgos por amenazas cibernéticas. Ante esta realidad, se requiere personal con la habilidad de manejar herramientas tecnológicas para la gestión y administración de información. Herramientas básicas de trabajo como procesadores de texto, hojas de cálculo, aplicaciones y contenidos multimedia. Herramientas para compartir y almacenar información como Google Cloud, DropBox o OneDrive, así

como herramientas de protección y vigilancia de datos que permitan una navegación segura en las redes con la capacidad de responder y discriminar con precisión anomalías causadas por errores de programación o por ataques cibernéticos (Horowitz, 2019). Determinar cómo se utilizará y gestionará la extensa cantidad de información garantizando al mismo tiempo el aprendizaje automático en beneficio de la organización bajo un estricto sentido de la ética será una de las funciones principales del factor humano en las empresas y organizaciones del futuro.

- Diseño, programación y operación de sistemas robotizados y automatizados.
- En los espacios colaborativos del futuro, los humanos y los robots deben compartir la producción y trabajar dentro de una estrecha relación humano-máquina, pero bajo la supervisión permanente del ser humano. Por ello, para una mayor eficiencia en la interacción entre robot y operador son necesarias funciones y habilidades que relacionen la capacidad creativa e innovadora del ser humano con sus conocimientos técnicos, y así determinar qué tareas se basarán en el conocimiento, creatividad y decisión del talento humano y cuáles por medio de reglas predefinidas a través de un flujo bidireccional de datos, información, modelos y simulaciones virtuales analizados y realizados por la maquinaria; programar robots por medio de diversos lenguajes de programación, el saber cómo realizar un mantenimiento periódico, programar dispositivos electrónicos periféricos por medio de interfaces de usuario y automatizar procesos por medio de dispositivos inteligentes (como los controladores lógicos programables) son funciones que apuntalarán un desarrollo sustentable impulsado por la interacción con tecnologías más avanzadas como la IA sin la necesidad de reemplazar a los humanos en las actividades que dan un valor agregado al producto, considerando así a los robots y a la automatización como amplificadores del potencial humano.
- Diseño y simulación de procesos y productos en espacios y/o entornos virtuales.
- El modelar sistemas físicos en ambientes virtuales ha derivado en grandes ahorros económicos ante la posibilidad de visualizar productos de forma

virtual antes de llevarlos al mundo físico, lo que permite corregir y realizar cambios sin la necesidad de fabricar prototipos. El modelado y simulación de procesos de manufactura y maquinado de piezas por medio de control numérico programable (CNC), la simulación en ambientes virtuales y el desarrollo de análisis mecánicos como lo es estático, térmico, frecuencia, pandeo, caída, fatiga, impacto y recipientes a presión por medio de software de especialidad son actualmente tecnologías innovadoras y sustentables para los procesos de diseño y manufactura. Para ello, se requiere un factor humano con conocimientos de diseño asistido por computadora (CAD), manufactura asistida por computadora (CAM) e ingeniería asistida por computadora (CAE), y que desarrolle la habilidad de implementarlos en sistemas de manufactura avanzada para optimizar la productividad y alcanzar una sustentabilidad integral. La parte humana es primordial para promover procesos de *manufactura verde* a través de ambientes virtuales, por lo que por medio de estas funciones se podrá innovar y proponer tecnologías que reduzcan el uso de recursos naturales y energía como parte de una economía circular global dentro del ciclo de vida de cada producto, desde su concepción y fabricación hasta el término de su vida útil.

- Integración y automatización de procesos.
- En sectores como el automotriz el operador humano aún realiza diversos procesos de forma manual debido a la complejidad de automatizar el proceso o producto con la tecnología actual. Procesos que incluyen completar conexiones y las subsecuentes pruebas de verificación de “empujar-tirar-empujar” continúan siendo una opción para el error humano (Kerner *et al.*, 2021). Las tecnologías digitales aún no han logrado que muchos procesos artesanales puedan automatizarse, por lo que su eficiencia sigue dependiendo principalmente de la experiencia y habilidad del trabajador (Sanz, 2020). Con base en lo anterior, para esta función el factor humano requiere complementar su experiencia laboral con conocimientos sobre tecnologías de operación (TO) —por ejemplo, aplicaciones para el control de motores, distribución de energía, control de movimiento, sistemas de supervisión y programación

de maquinaria, sensores de medición y actuadores industriales— para integrarlos con tecnologías de la información (TI). De tal forma que el factor humano aporte su experiencia en el proceso y las tecnologías digitales las herramientas para automatizarlo.

## CONCLUSIONES

La industria 4.0 generó un rápido crecimiento y desarrollo tecnológico en muchos sectores industriales por medio de procesos de fabricación más eficientes y empresas más productivas. Sin embargo, también presentó nuevos desafíos para la sociedad trabajadora ante la inminente sustitución de puestos de trabajo por nuevas tecnologías digitales. Asimismo, la automatización de la industria 4.0 provocó en cierto grado la desvalorización de los roles actuales de la fuerza laboral y de la experiencia adquirida a lo largo del proceso de producción.

El presente estudio permitió dar cumplimiento al objetivo de investigación, ya que se determinaron las funciones y habilidades requeridas por el factor humano en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0. Por lo que hoy en día, antes de decidir si un proceso industrial requiere ser automatizado, primero se debe realizar un profundo estudio y análisis para determinar si realmente la nueva tecnología que se plantea implementar tiene la capacidad de superar al ser humano, no sólo de forma física, sino también de forma cognitiva y creativa.

Ante situaciones de esta índole, las empresas deben evolucionar hacia la industria 5.0 con la premisa de implementar un sistema automatizado balanceado, donde la relación hombre-máquina sea representada ahora como una relación capacidad física-capacidad intelectual.

El nuevo rol del factor humano no sólo debe ser visto como el nacimiento de nuevos puestos de trabajo, sino también como el nacimiento de nuevas funciones para puestos de trabajos que tal vez ya existían o que existirán en el futuro. Actualmente, cada una de las funciones propuestas pueden llegar a ser parte importante en la formación de todo profesional ya que muchas áreas del conocimiento —por no decir todas— hoy en día manejan millones de datos que requieren ser analizados, interpretados y protegidos; utilizan plataformas digitales para darse a conocer en el mundo o utilizan robots para

facilitar y mejorar su desempeño.

No obstante, como consecuencia de este desarrollo y de la creciente innovación en nuevas tecnologías surgen a la par nuevas cuestiones sociales, éticas y humanas para la sociedad, por lo que resaltar el hecho de que estas tecnologías, sistemas y procesos deben estar al servicio de la humanidad a través de una simbiosis hombre-máquina es imperativo. Fortalecer el proceso de transformación de la base biológica y dirigirla hacia una economía sostenible también es necesario, además de dar mayor relevancia a las tecnologías innovadoras y a los ODS de la Agenda 2030, tal como lo menciona Schütte (2018).

Asimismo, las funciones propuestas para el factor humano van relacionadas con los objetivos 4 y 8 de la Agenda 2030, en los cuales se resalta la necesidad de una educación de calidad que promueva un crecimiento inclusivo y sostenido para impulsar el progreso de la sociedad, la necesidad de crear empleos decentes para todos y la búsqueda permanente por mejorar los estándares de vida de la población mundial (Naciones Unidas, 2015), razón por la cual se requiere que las instituciones de educación superior fortalezcan las competencias tecnológicas que vienen con la industria 4.0 y, que su vez, sean complementadas con habilidades blandas para estimular la capacidad creativa e innovadora, así como la ética personal requeridas para la industria 5.0.

Finalmente, el estudio coincide con lo identificado por ElMaraghy *et al.* (2021), el cual menciona que la evolución de los sistemas de fabricación se verá influenciada por cuatro ejes: productos, tecnología, estrategias comerciales y paradigmas productivos, adoptando la toma de decisiones centrada en el ser humano en colaboración con los sistemas inteligentes que, a su vez, serán adaptativos y con mayor capacidad de respuesta. Sin embargo, esto también nos lleva a concluir que el objetivo de cualquier tipo de revolución industrial o digital no sólo será impulsar los ejes antes mencionados y que la industria mejore, sino también lograr satisfacer las necesidades prioritarias de la sociedad y mejorar su calidad de vida.

Alcanzar una mayor eficiencia operativa, una mayor productividad y una mejor gestión de los activos y procesos industriales por medio de la personalización de productos y de la creación de valor como elementos fundamentales es ahora el principal objetivo de la digitalización. Promover la generación de ambientes

organizacionales que impacten en una fuerza laboral saludable y autorrealizada debe ser ahora el objetivo de las empresas y sociedad. Esto es la industria 5.0, la revolución industrial que está preparando el camino para un nuevo modelo de producción, donde empresas y sociedad, además de ser inteligentes, buscarán incorporar a la sustentabilidad en sus cuatro dimensiones —social, económica, ambiental e institucional— para garantizar un mayor bienestar a las nuevas generaciones.

## REFERENCIAS

- Agouzoul, A., Tabaa, M., Chegari, B., Simeu, E., Dandache, A. y Alami, K. (2021). Towards a Digital Twin model for Building Energy Management: Case of Morocco. *Procedia Computer Science*, 184, 404-410. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.051>
- Aheleroff, S., Mostashiri, N., Xu, X. y Zhong, R.Y. (2021). Mass Personalization as a Service in Industry 4.0: A Resilient Response Case Study. *Advanced Engineering Informatics*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101438>
- Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Bahl, S. y Verma, S. (2021). Implementing Industry 4.0 technologies in self-healing materials and digitally managing the quality of manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 52(4). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.248>
- Ashima, R., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Mahla, S.K. y Singh, S. (2021). Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 45(6), 5081-5088. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.583>
- Asociación Clúster de Automoción de Navarra [ACAN]. (2017). *La Industria 4.0. Tecnologías habilitadoras*. Recuperado de [https://clusterautomocionnavarra.com/wp-content/uploads/2017/10/ACAN-Tecnolog%C3%ADas\\_habilitadoras.pdf](https://clusterautomocionnavarra.com/wp-content/uploads/2017/10/ACAN-Tecnolog%C3%ADas_habilitadoras.pdf)
- Bahrin, M.A.K., Othman, M.F., Azli, N.H.N. y Talib, M.F. (2016). Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6), 137-143.
- Barata, J. (2021). The fourth industrial revolution of supply chains: A tertiary study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 60. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2021.101624>
- Bhatti, G., Mohan, H. y Singh, H.M. (2021). Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110801>
- Breque, M., De Nul, L. y Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Recuperado de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/>
- Brunner, M. y Wolfartsberger, J. (2018). Virtual Reality enriched Business Model Canvas Building Blocks for enhancing Customer Retention. *Procedia Manufacturing*, 42, 154-157. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.062>
- Carrillo, J., Gomis, R., De los Santos, S. Covarrubias, L. y Matus, M. (2020). ¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22), 01-22. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.76089>
- Castagnoli, R., Büchi, G., Coeureroy, R. y Cugno, M. (2021). Evolution of industry 4.0 and international business: A systematic literature review and a research agenda. *European Management Journal*, en prensa. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2021.09.002>
- Castro, E. (2021). *Industria 5.0: conectará los elementos humanos con producción inteligente*. Recuperado de <https://mexicoindustry.com/noticia/industria-50-conectara-los-elementos-humanos-con-produccion-inteligente>
- Cebollada, S., Payá, L., Flores, M., Peidró, A. y Reinoso, O. (2021). A state-of-the-art review on mobile robotics tasks using artificial intelligence and visual data. *Expert Systems with Applications*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114195>
- Crawford, B., Sourki, R., Khayyam, H. y Milani, A.S. (2021). A machine learning framework with dataset-knowledgeability pre-assessment and a local decision-boundary crispness score: An industry 4.0-based case study on composite autoclave manufacturing. *Computers in Industry*, 132, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103510>

- Comisión Europea. (2021). *Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/info/news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-jan-07\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-jan-07_en)
- Costello, O., Kent, M.D. y Kopacek, P. (2019). Integrating Education into Maintenance Operations: An Irish case study. *IFAC-PapersOnLine*, 52(25), 415-420. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.573>
- Demir, K.A. y Cicibas, H. (2017). The Next Industrial Revolution: Industry 5.0 and Discussions on Industry 4.0. *4th International Management Information Systems Conference "Industry 4.0"*, 01-10. Turkey: İstanbul University.
- Demir, K.A., Döven, G. y Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158(1), 688-695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- De los Santos, S. (2021). *Industria 5.0 en los sectores textil y aeroespacial*. Recuperado de [https://www.economista.es/pais\\_vasco/noticias/11179539/04/21/Industria-50-en-los-sectores-textil-y-aeroespacial.html](https://www.economista.es/pais_vasco/noticias/11179539/04/21/Industria-50-en-los-sectores-textil-y-aeroespacial.html)
- Del Giudice, M., Scuotto, V., Orlando, B. y Mustilli, M. (2021). Toward the human – Centered approach. A revised model of individual acceptance of AI. *Human Resource Management Review*, en prensa. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2021.100856>
- D’Olivo, P. y Karana, E. (2021). Materials Framing: A Case Study of Biodesign Companies’ Web Communications. *She Ji: The Journal of Design, Economic, and Innovation*, 7(3), 403-434. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2021.03.002>
- Dornelles, J., Ayala, N.F. y Frank, A.G. (2021). Smart Working in Industry 4.0: How digital technologies enhance manufacturing workers’ activities. *Computer & Industrial Engineering*, 163, 107804. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107804>
- Doyle-Kent, M. y Kopacek, P. (2021). Adoption of Collaborative Robotics in Industry 5.0. An Irish industry case study. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 413-418. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.483>
- Elfar, O.A., Chang, C., Leong, H.Y., Peter, A.P., Chew, K.W. y Show, P.L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energy Conversion and Management: X*, 10, 01-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100048>
- ElMaraghy, H., Monostori, L., Schuh, G. y ElMaraghy, W. (2021). Evolution and future of manufacturing systems. *CIRP Annals*, 70(2), 635-658. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.05.008>
- Elsevier Connect. (2018). *Indicadores de calidad de las revistas científicas*. Recuperado de <https://www.elsevier.com/es-es/connect/ciencia/revistas-cientificas-factor-impacto>
- Emeric, C., Geoffrpy, D. y Paul-Eric, D. (2020). Development of a new robotic programming support system for operators. *Procedia Manufacturing*, 51, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.012>
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K. y Sihm, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *6th CLF - 6th CIRP Conference on Learning Factories*, 54, 13-18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Fast-Berglund, A. y Thorvald, P. (2021). Variations in cycle-time when using knowledge-based tasks for humans and robots. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 152-157. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.017>
- Foresti, R., Rossi, S., Magnani, M., Lo Bianco, C.G. y Delmonte, N. (2020). Smart Society and Artificial Intelligence: Big Data Scheduling and the Global Standard Method Applied to Smart Maintenance. *Engineering*, 6(7), 835-846. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.11.014>
- Gazzaneo, L., Padovano, A. y Umbrello, S. (2020). Designing Smart Operator 4.0 for Human Values: A Value Sensitive Design Approach. *Procedia Manufacturing*, 42, 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.073>
- Ghosh, S., Hughes, M., Hodgkinson, I. y Hughes, P. (2021). *Technovation*, 113, 102414. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102414>
- Goel, P., Jain, P., Pasman, H.J., Pistikopoulos, E.N. y Datta, A. (2020). Integration of data analytics with cloud services for safer process systems, application examples and implementation challenges. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 68, 104316. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104316>
- Gotfredsen, S. (2016). *Bringing back the human touch: Industry 5.0 concept creating factories of the future*.

- Recuperado de <http://www.manmonthly.com.au/features/bringing-back-the-human-touch-industry-5-0-concept-creating-factories-of-the-future/>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C.P. (2018). *Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill.
- Horowitz, B.M. (2019). *Chapter 5 - Policy Issues Regarding Implementations of Cyber Attack: Resilience Solutions for Cyber Physical Systems*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817636-8.00005-3>
- Hozdic, E. (2015). Smart factory for industry 4.0: a review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/282791888\\_Smart\\_factory\\_for\\_industry\\_40\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/282791888_Smart_factory_for_industry_40_A_review)
- Iyer, L.S. (2021). AI enabled applications towards intelligent transportation. *Transportation Engineering*, 5, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100083>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Khan, S. y Suman, R. (2021). Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, 2(4). <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100027>
- Javaid, M. y Haleem, A. (2019). Industry 4.0 applications in medical field: A brief review. *Current Medicine Research and Practice*, 9(3), 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2019.04.001>
- Jayashree, S., Reza, M.N.H., Agamudai, C., Malarvizhi, N. y Mohiuddin, M. (2021). Industry 4.0 implementation and Triple Bottom Line sustainability: An empirical study on small and medium manufacturing firms. *Heliyon*, 7(1), 01-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07753>
- Johansen, K. y Rönnbäck, A.O. (2021). Small Automation Technology Solution Providers: Facilitators for Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, 104, 677-682. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.114>
- Johansson, H. (2017). *Profinet Industrial Internet of Things Gateway for the Smart Factory*. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Profinet-Industrial-Internet-of-Things-Gateway-for-Johansson/4b063080e58baa35ed1e4a85c4f9c529c21724ff>
- Kagermann, H. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Germany: Forschungsunion.
- Kerner, S., Gunasekar, S., Vedant, R.M., Krugh, M. y Mears, L. (2021). Parametrization of manual work in automotive assembly for wearable force sensing. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 686-700. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.04.009>
- Karnik, N., Bora, U., Bhadri, K., Kadambi, P. y Dhattrak, P. (2021). A comprehensive study on current and future trends towards the characteristics and enablers of industry 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100294>
- Khan, W.Z., Rehman, M.H., Zangoti, H.M., Afzal, M.K., Armi, N. y Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106522>
- Kopacek, P. (2021). Automatized Disassembly a Tool for saving the Environment. *IFAC.PapersOnLine*, 54(13), 408-412. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.482>
- Lee, J., Kao, H.A. y Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Product Services Systems and Value Creation. Proceedings of the 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, Procedia CIRP*, 16(1), 03-08.
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B. y Kao, H. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, 1(1), 38-41. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.09.005>
- Lledó, G.L. y Galiano, C.S. (2018). Revisión bibliométrica sobre la realidad aumentada en Educación. *Revista General de Información y Documentación*, 28(1), 45-60. <http://dx.doi.org/10.5209/RGID.60805>
- Löcklin, A., Jung, T., Jazdi, N., Ruppert, T. y Weyrich, M. (2021). Architecture of a Human-Digital Twin as Common Interface for Operator 4.0 Applications. *Procedia CIRP*, 104, 458-463. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.077>
- Lu, Y., Adrados, J.S., Chand, S.S. y Wang, L. (2021). Humans Are Not Machines—Anthropocentric Hu-



- man–Machine Symbiosis for Ultra-Flexible Smart Manufacturing. *Engineering*, 7(6), 734-737. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.09.018>
- Maddikunta, P.K.R., Pham, Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T.R., Ruby, R. y Liyanage, M. (2021). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
- Meindl, B., Ayala, N.F., Mendoza, J. y Frank, A.G. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120784>
- Moosavi, J., Bakhshi, J. y Martek, I. (2021). The application of industry 4.0 technologies in pandemic management: Literature review and case study. *Healthcare Analytics*, 1(1), 01-11. <https://doi.org/10.1016/j.health.2021.100008>
- Muller, J. (2020). *Enabling Technologies for Industry 5.0 Results of a workshop with Europe's technology leaders*. Recuperado de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en>
- Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Narula, S., Puppala, H., Kumar, A., Frederico, G.F., Dwivedy, M., Prakash, S. y Talwar, V. (2021). Applicability of industry 4.0 technologies in the adoption of global reporting initiative standards for achieving sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127141>
- Nakayama, R.S., Spínola, M.M. y Silva, J.R. (2020). Towards I4.0: A comprehensive analysis of evolution from I3.0. *Computers & Industrial Engineering*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106453>
- Niehoff, S. y Beier, G. (2018). Industrie 4.0 and a sustainable development: a short study on the perception and expectations of experts in Germany. *International Journal Innovation and Sustainable Development*, 12(3), 360-374. DOI: 10.1504/IJISD.2018.091543
- Omolara, A.E., Alabdulatif, A., Abiodun, O.I., Alawida, M., Alabdulatif, A., Alshoura, W.H. y Arshad, H. (2021). The internet of things security: A survey encompassing unexplored areas and new insights. *Computers & Security*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102494>
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [WIPO]. (2014). *Global Innovation Index 2014. The human factor in innovation*. Recuperado de <https://www.wipo.int/publications/es/details.jsp?id=3254>
- Østergaard, E. (2018). *Industria 5.0: La nueva era en el sector de la manufactura Mexicana*. *Revista Metal-mecánica Internacional*. Recuperado de <https://www.metalmecanica.com/temas/Industria-50,-la-nueva-era-en-el-sector-de-la-manufactura-mexicana+126118?pagina=2>
- Paul, J. y Criado, A.R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, 29(4), 01-07. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>
- Paul, J. y Rosado-Serrano, A. (2019). Gradual internationalization vs born-global/ international new venture models. *International Marketing Review*, 36(6), 830-858. <https://doi.org/10.1108/IMR-10-2018-0280>
- Pillai, S.G., Haldorai K., Seo, W.S. y Kim, W.G. (2021). COVID-19 and hospitality 5.0: Redefining hospitality operations. *International Journal of Hospitality Management*, 94. DOI: 10.1016/j.ijhm.2021.102869
- Prieto, C. (2008). *Dinámica empresarial*. México: Limusa.
- Portulans Institute. (2021). *Networks Readiness Index 2021* [base de datos]. Recuperado de <https://networkreadinessindex.org/nri-2021-edition-press-release/>
- Qiao, L., Li, Y., Chen, D., Serikawa, S., Guizani, M. y Lv Z. (2021). A survey on 5G/6G, AI, and Robotics. *Computers & Electrical Engineering*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107372>
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, A. y Gorecky, D. (2016). Towards an Operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. *CIE46 Proceedings*, 46, 1-11.
- Romero, D. y Stahre, J. (2021). Towards The Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 104, 1089-1094. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.183>
- Rubmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M. y Justus, J. (2015). *Industry*

- 4.0: *The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Recuperado de [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)
- Sachsenmeier, P. (2016). Industry 5.0—The Relevance and Implications of Bionics and Synthetic Biology. *Engineering*, 2(1), 225-229. <http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2016.02.015>
- Sanz, J.R. (2020). *Como los Integradores de Sistemas ayudan a los fabricantes a abordar las brechas de habilidades en automatización industrial*. Recuperado de <https://blogespanol.se.com/gestion-de-procesos-y-maquinas/2020/10/15/como-los-integradores-de-sistemas-ayudan-a-los-fabricantes-a-abordar-las-brechas-de-habilidades-en-automatizacion-industrial/>
- Schütte, G. (2018). What kind of innovation policy does the bioeconomy need? *New Biotechnology*, 40(Parte A), 82-86. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.04.003>
- Seferlis, P., Verbanov, P.S., Papadopoulos, A., Chin, H.H. y Klemes, J.J. (2021). Sustainable design, integration, and operation for energy high-performance process systems. *Energy*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120158>
- Shahbakhsh, M., Emad, G.R. y Cahoon, S. (2021). Industrial revolutions and transition of the maritime industry: The case of Seafarer's role in autonomous shipping. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38(1). <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.11.004>
- Shariati, M., Weber, W.E., Bohien, J., Kurz, G., Letzing, D. y Hüche, D. (2020). Enabling intelligent Mgsheet processing utilizing efficient machine-learning algorithm. *Materials Science and Engineering: A*, 794, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139846>
- SignalsIoT. (2019). *Integración de sistemas en la Industria 4.0*. Recuperado de <https://signalsiot.com/integracion-de-sistemas-en-la-industria-4-0/>
- Sujith, A.V.L.N., Sajja, G.S., Mahalakshmi, V., Nuhmani, S. y Prasanalaksmi, B. (2021). Systematic review of smart health monitoring using deep learning and Artificial intelligence. *Neuroscience Informatics*, 2(3), 01-06. <https://doi.org/10.1016/j.neuri.2021.100028>
- Surange, V.G., Bokade, S.U., Singh, A.K. y Teli, S.N. (2021). Prioritization of roadblocks to adoption of industry 4.0 technologies in manufacturing industries using VIKOR. *Materialstoday: proceedings*, 50(5). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.448>
- Tabaa, M., Brahmi, A. y Chouri, B. (2021). Contribution to the implementation of an industrial digitization platform for level detection. *Procedia Computer Science*, 191, 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.057>
- Tamaro, A.M. y Casarosa, V. (2014). Research Data Management in the Curriculum: An Interdisciplinary Approach. *Procedia Computer Science*, 38, 138-142. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.10.023>
- Tecktüfekci, F. (2019). A Bibliometric Analysis of Industry 4.0-Focused Turkish E-Accounting Applications. *Procedia Computer Science*, 158, 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.094>
- Thakur, P. y Sehgal, V.K. (2021). Emerging architecture for heterogeneous smart cyber-physical systems for industry 5.0. *Computers & Industrial Engineering*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107750>
- Trentesaux, D. y Caillaud, E. (2020). Ethical stakes of Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 17002-17007. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1486>
- Vaidya, S., Ambad, P. y Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering*, 20(1), 233-238.
- Velu, R., Kumar, A.V., Balan, A.S.S. y Mazumder, J. (2021). Laser aided metal additive manufacturing and post-processing: a comprehensive review. En J. Pau, A. Riveiro y J. Davin (Eds.), *Handbooks in Advanced Manufacturing Additive Manufacturing* (pp. 427-456). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818411-0.00023-9>
- Wang, G., Xu, Y. y Ren, H. (2021). Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.005>
- Wheeler, M. (2021). *¿Industria 5.0? Primero hay que consolidar la Industria 4.0, que aún no es una realidad*. Recuperado de <https://www.interempresas.net/>

Electronica/Articulos/357706-Industria-50-Primer-hay-que-consolidar-la-Industria-40-que-aun-no-es-una-realidad.html

Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B. y Wang, L. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61(1), 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>

Yin, L., Gao, Q., Zhao, L., Zhang, B., Wang, T., Li, S. y Liu, H. (2020). A review of machine learning for new generation smart dispatch in power systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103372>

Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I. y Sajdl, O. (2016). Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PaperOnLine*. 49(25), 08-12.

## NOTAS DE AUTOR

<sup>a</sup> Docente Investigador de la Universidad Politécnica de Tlaxcala, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Miembro del SNI Nivel I.

Contacto: [jorge.carro@uptlax.edu.mx](mailto:jorge.carro@uptlax.edu.mx)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8464-2566>

Últimas publicaciones:

- Carro-Suárez, J., Sarmiento-Paredes, S. y Rosano-Ortega, G. (2017). La cultura organizacional y su influencia en la sustentabilidad empresarial. *Estudios Gerenciales*, 33(145), 352-365. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.11.006>
- Carro-Suárez, J., Flores-Salazar, F., Flores-Nava, I., y Hernández-Hernández, R. (2019). Industria 4.0 y Manufactura Digital: un método de diseño aplicando Ingeniería Inversa. *Revista Ingeniería*. 24(1), 6-28. <https://doi.org/10.14483/23448393.13821>
- Carro-Suárez, J., Sarmiento-Paredes, S., Rosano-Ortega, G., Garnica-González, J. y Vega-Lebrún, C.A. (2021). The process of innovation as a determinant factor of sustainable development in companies. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 15(1). <http://dx.doi.org/10.1504/IJISD.2021.111552>

<sup>b</sup> Docente Investigadora de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, Universidad Politécnica de Tlaxcala. Miembro del SNI Nivel I.

Contacto: [sarmientosusana@yahoo.com.mx](mailto:sarmientosusana@yahoo.com.mx)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1714-9066>

Últimas publicaciones:

- Sarmiento-Paredes, S., Nava-Mozo, V., Carro-Suárez, J. y Hernández-Cortés, C. (2018). Estudio Comparativo de los factores de innovación en la pequeña y mediana empresa de manufactura textil. *Contaduría y Administración*, 63(3). 1-24. <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1268>
- Carro-Suárez, J., Sarmiento-Paredes, S. y Rosano-Ortega, G. (2017). La cultura organizacional y su influencia en la sustentabilidad empresarial. *Estudios Gerenciales*, 33(145), 352-365. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.11.006>
- Carro-Suárez, J., Sarmiento-Paredes, S., Rosano-Ortega, G., Garnica-González, J. y Vega-Lebrún, C.A. (2021). The process of innovation as a determinant factor of sustainable development in companies. *Int. J. Innovation and Sustainable Development*, 15(1). <http://dx.doi.org/10.1504/IJISD.2021.111552>