

Industria 4.0: Impacto de la Digitalización y la Automatización en la Transformación Social e Industrial

/

Industry 4.0: Impact of Digitalization and Automation on Social and Industrial Transformation

Dr. Clayson Cosme Da Costa Pimenta

Universidad de Oviedo, Universidad Internacional Isabel I de Castilla, España

daclayson@uniovi.es

<https://orcid.org/0000-0003-3169-3519>

Drdo. Daniel Zarzuelo Prieto

Universidad de Oviedo, España

daniel.z1999@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-4202-6544>

Mtr. Alejandro Balán García

Universidad Politécnica de Madrid, España

alexbalan6@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2710-9469>

Dr. José Alberto Goicochea Calderón

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, España

pcgmjgoi@upc.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9654-2829>

Ing. Sergio Beltrán Sánchez

Universidad de Oviedo, España

uo289068@uniovi.es

<https://orcid.org/0009-0008-2015-5495>

Fecha de Recepción: 2 de Septiembre de 2024

Fecha de Aceptación: 30 de Noviembre de 2024

Fecha de Publicación: 31 de Marzo de 2025

Financiamiento:

Se financió con recursos propios.

Conflictos de interés:

Los autores declaran no presentar conflicto de interés.

Correspondencia:

Nombres y Apellidos: Dr. Clayson Cosme Da Costa Pimenta

Correo electrónico: daclayson@uniovi.es

El artículo es resultado de una investigación propuesta por el grupo mencionado anteriormente (los 5 investigadores relacionados arriba) en que propusieron investigar los cambios y transformaciones de la sociedad relacionada con la innovación y la tecnología dentro de la industria 4.0. La investigación estuvo auspiciada por el Departamento de Administración de Empresas de la Universidad de Oviedo.

Resumen

La Industria 4.0 marca una nueva revolución en un contexto de competencia global y avances tecnológicos, exigiendo a las empresas reconfigurar sus modelos de negocio y producción. Este artículo analiza cómo la integración de tecnologías de fabricación y comunicación optimiza la producción y aumenta la eficiencia, transformando la industria y la sociedad. Se exploran las implicaciones de la digitalización y la automatización en el mercado laboral, las aptitudes requeridas para los trabajadores y los desafíos de sostenibilidad. Los resultados sugieren que, aunque la automatización plantea riesgos de desempleo, también genera oportunidades mediante una colaboración humano-máquina, destacando la necesidad de formación y adaptación.

Palabras clave: Industria 4.0. Digitalización. Automatización. Mercado laboral. Sostenibilidad.

Abstract: *Industry 4.0 marks a new revolution within a context of global competition and technological advances, requiring companies to reconfigure their business, production, and development models. This article analyzes how the integration of manufacturing and communication technologies optimizes production and enhances efficiency, transforming both industry and society. It explores the implications of digitalization and automation on the labor market, the skills required for workers, and sustainability challenges. The findings suggest that, while automation poses unemployment risks, it also creates opportunities through human-machine collaboration, underscoring the need for training and adaptation.*

Keywords: *Industry 4.0. Digitalization. Automation. Labor market. Sustainability.*

Introducción

Las revoluciones industriales marcaron cambios trascendentales en la historia de la humanidad, transformando radicalmente la sociedad, la economía y la tecnología. Estos períodos de cambio revolucionario desencadenaron una serie de innovaciones que catapultaron al mundo hacia la era moderna. Desde la primera hasta la cuarta revolución industrial, cada etapa ha dejado una huella significativa en el panorama socioeconómico global.

Estas revoluciones han estado caracterizadas por la aparición de tecnologías innovadoras que modificaron notablemente los procesos y formas de producción existentes. Dichas innovaciones tecnológicas implicaron grandes transformaciones en los aspectos económicos y sociales. Desde el siglo XVIII, con la aparición de la Primera Revolución Industrial, el ser humano ha estado inmerso en un proceso de innovación y evolución constante que se ha desarrollado a gran velocidad. A lo largo de los siglos XVIII, XIX y XX se sucedieron tres revoluciones industriales que establecieron las bases de los sistemas de producción en la industria.

Rozo-García destaca que el avance vertiginoso de la tecnología en las últimas décadas ha propiciado la emergencia de una nueva revolución industrial conocida como Industria 4.0.¹ Este concepto integra las tecnologías que fueron pilares fundamentales en las revoluciones previas y las combina con nuevas tecnologías de comunicación y producción, transformando lo conocido hasta ahora y abriendo un amplio escenario de oportunidades basadas en el aprovechamiento de la informática.

Vivimos en la era de la sociedad de la información, lo que exige que la sociedad esté al tanto de las evoluciones de las tecnologías emergentes. Estas no solo generan cambios en la producción y el desarrollo de la actividad industrial, sino que también pueden transformar las relaciones humanas y la interacción entre el ser humano y la máquina.² Como se observa, el impacto de estas revoluciones industriales no se limita al ámbito productivo, sino que provoca transformaciones en la organización social (con núcleos poblacionales más grandes), el transporte y el sistema económico, favoreciendo la especialización productiva y el comercio entre regiones y países.

Por este motivo, el objetivo de este trabajo es presentar de manera sencilla y accesible para cualquier lector los conceptos relacionados con la Industria 4.0 y las tecnologías que la componen. Primero, se introducirá brevemente el concepto y origen de la Industria 4.0; posteriormente, se abordarán las tecnologías que involucra y cómo la innovación y la digitalización están modificando la ingeniería industrial y generando transformaciones en la sociedad.

La Industria 4.0 representa una revolución en la fabricación y la producción, impulsada por tecnologías avanzadas como la digitalización y enfrentada a desafíos como la interoperabilidad, la escasez de recursos y la necesidad de integración sociotécnica.³ Sin embargo, sus beneficios potenciales en términos de sostenibilidad y eficiencia son significativos, lo que requiere una

¹ Florelva Rozo-García, "Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0", Revista UIS Ingenierías 19, no. 2 (2020), <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>.

² J. L. del Val Román, "Industria 4.0: la transformación digital de la industria", en Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes CODDII, Valencia, marzo de 2021.

³ M. Sony y Subhash S. Naik, "Integración de la industria 4.0 con la teoría de sistemas sociotécnicos: una revisión sistemática y un modelo teórico propuesto", Technology in Society 61 (2020): 101248, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101248>.

implementación exitosa basada en marcos conceptuales y metodologías claras que guíen a las empresas en su transformación digital.⁴

1. La primera Revolución Industrial

Para comenzar, se realizará una breve exposición de las tres revoluciones industriales ocurridas en el pasado, las cuales constituyen un pilar fundamental de la Industria 4.0.

La Primera Revolución Industrial se reconoce como un proceso de crecimiento económico experimentado inicialmente por Gran Bretaña, seguido por Francia, Bélgica y Alemania, desde finales del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX.⁵ Este proceso revolucionó la forma en que la humanidad vivía y trabajaba, marcando una transición de la producción artesanal y manual hacia la mecanización y la producción en masa.

Ello incrementó enormemente la eficiencia y la cantidad de productos disponibles. Gracias a esta revolución, surgieron nuevas tecnologías y se mejoraron los medios de transporte, transformando la economía y la sociedad de la época. Este período fue crucial porque sentó las bases de la modernización y el crecimiento económico que conocemos hoy. A lo largo de los años han surgido distintas interpretaciones sobre la Primera Revolución Industrial. Mokyr distingue cuatro escuelas:⁶ la primera destaca los cambios institucionales como factor clave para su desarrollo; la segunda subraya el notable crecimiento de la renta, la mano de obra y el capital; la tercera resalta la aparición de nuevas formas de organización en empresas y trabajo; y la cuarta centra su análisis en las innovaciones tecnológicas ocurridas.

La Primera Revolución Industrial abarca los desarrollos más significativos para la industrialización de la economía agrícola, como la máquina de vapor, las fábricas de algodón y la industria del acero.⁷ La invención del cronómetro, por ejemplo, abrió el camino para el estudio del tiempo. Asimismo, uno de los cambios más notables fue la aparición de una nueva fuente de energía: el

⁴ Ercan Öztemel y S. Gursev, “Revisión de la literatura sobre la Industria 4.0 y tecnologías relacionadas”, *Journal of Intelligent Manufacturing* 31 (2018): 127–182, <https://doi.org/10.1007/S10845-018-1433-8>.

⁵ S. Palmero, “La Revolución Industrial en Inglaterra: orígenes, realizaciones y consecuencias” (trabajo de pregrado, Universidad de Valladolid, 2022), <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/58782>.

⁶ Joel Mokyr, “Crecimiento económico a largo plazo e historia de la tecnología”, en *Manual de crecimiento económico*, ed. Philippe Aghion y Steven N. Durlauf (Amsterdam: Elsevier, 2005), 1:1113–1180.

⁷ Ricardo Granados Carreño, Jhonatan Granados Carreño y Jhonathan Stiven Duarte Camacho, “Evolución de la Ingeniería Industrial desde la primera revolución industrial, hasta la industria 4.0” (Repositorio Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2018), https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/21969/2018_Articulo_Duarte_Camacho_Jhonathan_Stiven.pdf?sequence=1&isAllowed=.

carbón mineral, de carácter comercial, sustituyó a la energía proveniente del agua y el viento, cuyo uso era libre hasta entonces.⁸

La Revolución Industrial transformó profundamente el mundo en múltiples aspectos. No se trató solo de un cambio tecnológico, sino de una transformación de la sociedad, la economía y la vida urbana, marcando un antes y un después en la historia de la humanidad. A modo de resumen, estas fueron sus consecuencias más relevantes:

Mecanización del trabajo y auge de las grandes fábricas: la producción mecanizada redujo significativamente el trabajo artesanal. Esta nueva forma de producción desplazó los talleres por grandes centros fabriles, lo que incrementó la producción, especialmente en el sector textil.

Transformación de la economía y la sociedad: con la expansión de los centros de producción industrial, emergió una nueva clase social, el proletariado industrial. Las condiciones de trabajo y vida de estos trabajadores, concentrados en dichos espacios, rompieron con las características de épocas anteriores, dando origen al sindicalismo y el socialismo.

Crecimiento de las ciudades: las ciudades experimentaron un crecimiento significativo. A medida que el trabajo en el campo se mecanizaba, el éxodo rural aumentaba la población urbana, lo que generó condiciones de vida precarias, especialmente desde una perspectiva higiénica y sanitaria.

En conclusión, la Primera Revolución Industrial fue un proceso que no solo marcó el inicio del capitalismo moderno, sino que también tuvo un impacto global, reconfigurando la economía mundial y estableciendo un modelo para el desarrollo industrial en otras regiones.⁹

2. La Segunda Revolución Industrial

La Segunda Revolución Industrial se inicia aproximadamente en 1870 y se desarrolla hasta finales de la Segunda Guerra Mundial en Estados Unidos y Europa Noroccidental.¹⁰ Entre 1940 y 1970 se produce una expansión generalizada y un gran aprovechamiento de las nuevas tecnologías desarrolladas. Este período se caracterizó por el papel destacado de la ciencia en el estímulo de la innovación, la introducción de la cadena de montaje (división del proceso productivo en pasos diferenciados), la especialización del

⁸ M. H. Badii, A. Guillen, D. Castillo-Martínez, M. García-Martínez y J. L. Abreu, Instituto de Estudios Superiores Spenta de México (México: Spenta Universidad, 2020), [http://www.spentamexico.org/v15-n1/A4.15\(1\)40-51.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n1/A4.15(1)40-51.pdf).

⁹ Albert H. Imlah, "Reseña", *The American Historical Review* 72, no. 1 (1966): 184–184, <https://doi.org/10.2307/1848244>; P. O'Brien, "¿Fue la revolución industrial británica una coyuntura en la historia económica global?", *Journal of Global History* 17 (2021): 128–150, <https://doi.org/10.1017/S1740022821000127>.

¹⁰ Michell Montes Buriticá y Katerine Marín Giraldo, "¿Qué impacto tiene la cuarta Revolución Industrial en la profesión contable en Colombia?" (Medellín: Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, 2020), <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/612>.

trabajo obrero, la producción en serie y, en consecuencia, el aumento de la productividad en las fábricas.

Sin embargo, Gayubas sostiene que estos desarrollos quedaron eclipsados por la aparición del acero como producto industrial esencial, junto con el uso de la electricidad y el petróleo como fuentes de energía.¹¹ Otras áreas de gran desarrollo durante esta etapa fueron el transporte (aviones, automóviles y tranvías eléctricos) y las telecomunicaciones (radio, teléfono y fonógrafo).

La Segunda Revolución Industrial trajo consigo diversas consecuencias, como el desarrollo de la producción en serie, la aparición del consumo de masas, el crecimiento urbano y demográfico, la organización política de las clases trabajadoras y el aumento de las tensiones entre potencias imperialistas. De manera resumida, estas fueron sus principales repercusiones:

Mercado de consumo: la introducción de la cadena de montaje en las fábricas incrementó la productividad y permitió la producción en serie de bienes. Esto generó una mayor variedad de productos a precios accesibles para un segmento más amplio de la población, además de la aparición de nuevos bienes vinculados al entretenimiento y el ocio de masas.

Crecimiento urbano: las ciudades se expandieron gracias a la incorporación de transportes como el tranvía eléctrico y fuentes de energía como la electricidad.

Movimiento obrero: las precarias condiciones de trabajo y los entornos laborales impulsaron a los trabajadores a organizarse para exigir derechos laborales y mejoras salariales. En este contexto surgieron las primeras teorías de izquierda y las agrupaciones iniciales del movimiento obrero.

Tensiones imperialistas: las potencias industriales intensificaron su competencia por territorios y recursos valiosos para su crecimiento político y económico. Esto derivó en la colonización y el reparto de África entre las principales potencias europeas y, a largo plazo, en las tensiones que desencadenaron la Primera Guerra Mundial.

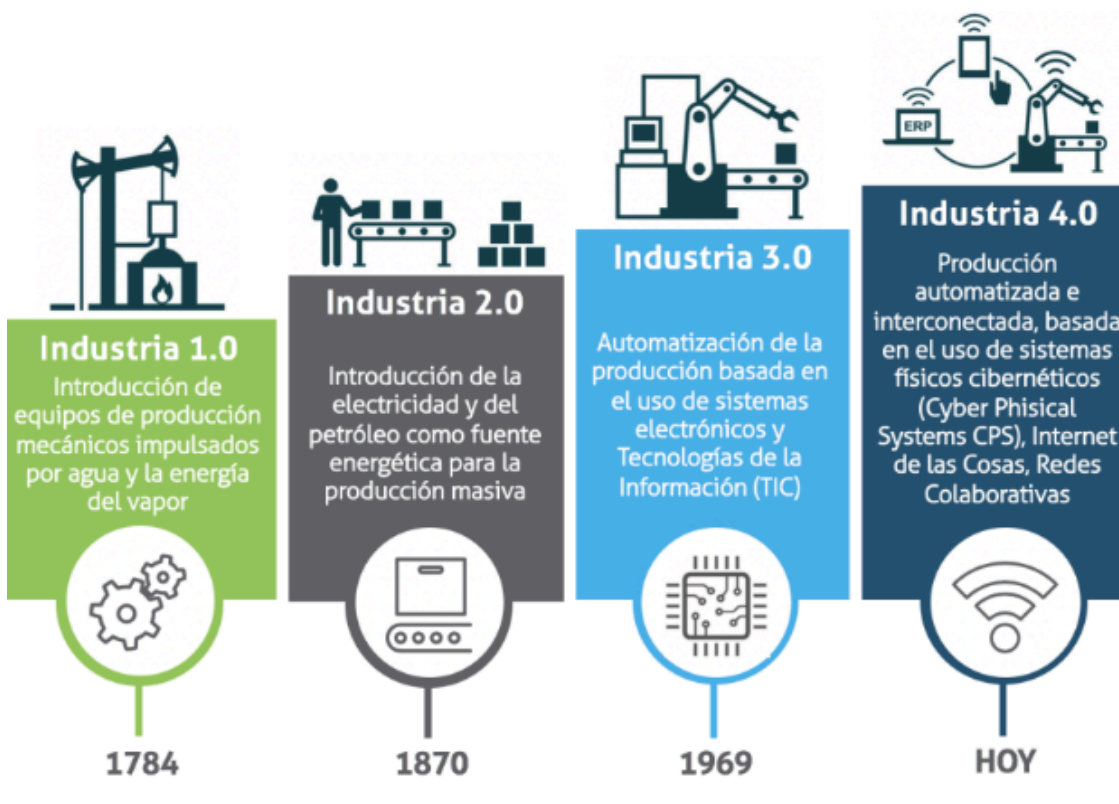
En la figura 1 se presenta un resumen de los avances ocurridos en cada revolución industrial, destacando la importancia de esta segunda etapa. Sus avances tecnológicos y científicos, junto con la integración de economías nacionales e internacionales, transformaron radicalmente la estructura social y económica, mejorando los estándares de vida y aumentando la esperanza de vida.¹² Industrias clave como el acero, la fabricación de metales y los productos químicos se beneficiaron enormemente, mientras que los mercados financieros

¹¹ Augusto Gayubas, "Segunda Revolución Industrial", Humanidades.com, 2017, <https://humanidades.com/segunda-revolucion-industrial/>.

¹² Ce Zhang y Jianming Yang, "Segunda Revolución Industrial", en Una historia de la ingeniería mecánica, 2020, https://doi.org/10.1007/978-981-15-0833-2_5.

desempeñaron un papel crucial en el apoyo a estas innovaciones.^{13 14}

Figura 1. Revoluciones Industriales



Fuente: Arango (2019)

La Segunda Revolución Industrial fue un período de transformaciones profundas y rápidas en la economía y la sociedad. Impulsada por innovaciones tecnológicas y científicas, y respaldada por un crecimiento económico sólido y la urbanización, esta era marcó un cambio cualitativo en la vida de las personas y en la estructura de las industrias. La integración de las economías y el apoyo de los mercados financieros a las nuevas industrias fueron factores determinantes en este proceso de cambio.

3. La Tercera Revolución Industrial

La Tercera Revolución Industrial, también conocida como “La Revolución Científica y Tecnológica”, se inicia en la década de 1950 y se extiende hasta los años 90, estrechamente vinculada al concepto de “Sociedad de la

¹³ Emilie Bonhoure y David le Bris, “¿Los mercados bursátiles franceses apoyaron a las empresas de la segunda revolución industrial?”, *Business History* 63 (2019): 914–943, <https://doi.org/10.1080/00076791.2019.1657409>.

¹⁴ Miguel Dueñas Arango, “Revoluciones Industriales”, 2019, <https://es.linkedin.com/pulse/revoluciones-industriales-miguel-due%C3%B1as-arango>.

Información”.¹⁵ Este período se caracterizó por una serie de cambios asociados a la introducción de conocimientos en informática, robótica, telecomunicaciones y biotecnología en los procesos productivos.

Otro enfoque del concepto, propuesto por el sociólogo y economista estadounidense Jeremy Rifkin y avalado por el Parlamento Europeo, sugiere que estamos ante un nuevo paradigma industrial, impulsado no solo por internet y las telecomunicaciones, sino también por el uso de energías renovables. Su principal consecuencia fue la transformación de las formas de organización del trabajo y la producción. La incorporación de ordenadores para procesar información y nuevas herramientas de telecomunicaciones facilitó la creación de grandes corporaciones empresariales que integran diversas funciones productivas.

Esta nueva gestión empresarial, junto con la adopción de innovaciones tecnológicas, incrementó la productividad tanto en la producción de bienes industriales como en la de bienes agrícolas y otros servicios. González-Hernández y otros destacan que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) dieron origen a una nueva sociedad: la sociedad de la información y el conocimiento.¹⁶ Para la industria, esta revolución supuso la modernización de los procesos productivos mediante la automatización, abriendo un amplio abanico de oportunidades para las empresas basadas en el aprovechamiento de la informática.

Como resultado, las diferencias entre países desarrollados y subdesarrollados se agudizaron en los ámbitos económico y social.¹⁷ Durante esta revolución se desarrollaron ramas tecnológicas como la bioingeniería, las telecomunicaciones, los ordenadores, los dispositivos móviles, el desarrollo de software y el Internet de las Cosas. En cuanto a la energía, el petróleo continuó siendo la fuente principal, complementada por la energía nuclear; sin embargo, comenzaron a ganar relevancia las investigaciones sobre fuentes renovables como la solar y la eólica.

Algunos aspectos de la Tercera Revolución Industrial, como la ingeniería energética, surgieron en el marco del proyecto de alcanzar la llamada era post-carbónica, es decir, el abandono de los combustibles fósiles y otras dinámicas de producción energética de alto costo ecológico. Estas generan una elevada emisión de carbono atmosférico (dióxido de carbono y otros gases orgánicos), contribuyendo al efecto invernadero y al cambio climático. El aumento continuo de la temperatura global podría tener consecuencias catastróficas, por lo que numerosos científicos proponen un cambio de

¹⁵ Isidro Jesús González-Hernández, Berenice Armas-Álvarez, Melanie Coronel-Lazcano, Nereida Maldonado-López, Osmara Vergara-Martínez y Rafael Granillo-Macías, “El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales”, *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún* 8, no. 16 (2021), <https://doi.org/10.29057/escs.v8i16.7118>.

¹⁶ González-Hernández et al., “El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales”.

¹⁷ Dulce María Coyoli Pereyra, “La calidad de vida a través de los sentimientos en las revoluciones industriales” (tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México, 2022), <http://hdl.handle.net/20.500.11799/137249>.

paradigma que combine producción industrial con nuevos estándares de sostenibilidad.

La Tercera Revolución Industrial está redefiniendo la economía global a través de la digitalización, la sostenibilidad y la democratización de la producción. Impulsada por las tecnologías de la información y las energías renovables, esta revolución transforma la infraestructura energética, la organización social y los paradigmas industriales. Países como China aprovechan esta transformación para liderar en innovación y desarrollo económico, aunque persiste el desafío de la desigualdad salarial asociada a habilidades específicas.

En conclusión, la Tercera Revolución Industrial, junto con la última, puede considerarse un motor de cambio significativo. Ha impulsado la digitalización, la sostenibilidad y la colaboración global, transformando la economía y la sociedad mediante nuevas formas de producción y organización social.¹⁸

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se ha seguido una metodología cualitativa. En particular, se realizó un metaanálisis de investigaciones similares con el objetivo de complementar y contrastar los resultados obtenidos en el estudio propuesto.

En cuanto a la recolección de información, se utilizaron diversas fuentes de investigación para garantizar datos acreditados. Además, se seleccionaron artículos publicados con posterioridad a 2018, asegurando así información actualizada. También se recurrió a fuentes secundarias para obtener datos adicionales, como las encuestas realizadas por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) y el Observatorio de la Ingeniería de España.

El proceso de elaboración del artículo se llevó a cabo de la siguiente manera:

En primer lugar, se seleccionó el tema a desarrollar, considerando que la automatización, la sustitución del trabajo humano y la Industria 4.0 han generado una preocupación significativa en la sociedad. En segundo lugar, se contextualizó el tema para explicar los motivos que han conducido a esta situación y los cambios ocurridos en la industria, la sociedad y la economía hasta llegar a este punto. Posteriormente, se formuló una pregunta orientada a guiar el desarrollo del artículo, discutiendo y comparando la información obtenida para ofrecer una respuesta que abarcara todos los horizontes posibles. Finalmente, se presentaron los resultados, se extrajeron las conclusiones principales y se propusieron futuras líneas de investigación.

¹⁸ Roberto Naboni y I. Paoletti, "La tercera revolución industrial", en *Advanced Customization in Architectural Design and Construction* (Cham: Springer, 2015), 7–27, https://doi.org/10.1007/978-3-319-04423-1_2; J. Fitzsimmons, "Tecnología de la información y la tercera revolución industrial", *The Electronic Library* 12 (1994): 295–297, <https://doi.org/10.1108/EB045307>.

4. Revisión de la literatura

4.1. Industria 4.0

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, representa una transformación significativa en los procesos de manufactura y negocios mediante la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), los Sistemas Ciberfísicos (CPS) y la computación en la nube. Este concepto ha captado la atención de la academia y la industria, y su implementación promete mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la competitividad en diversos sectores, modificando la forma en que los negocios operan y los entornos en los que compiten.

Lee y otros argumentan que la Industria 4.0 constituye un avance significativo en la fabricación y la producción gracias a la integración de tecnologías avanzadas.¹⁹ A pesar de los desafíos en su implementación, los beneficios potenciales en términos de eficiencia, innovación y sostenibilidad son considerables.

En 2011, Alemania acuñó el término Industria 4.0 en el “Plan de Acción Estrategia de Alta Tecnología 2020” como una oportunidad para consolidar su liderazgo tecnológico y posicionarse como referente en este ámbito. Peralta-Abarca y otros refieren que la Industria 4.0, también conocida como “Fábrica Inteligente” o “Internet Industrial”, alude a fábricas autónomas donde el trabajador pasa de producir a supervisar máquinas que asumen la producción.²⁰ Más adelante se dedicará un apartado a analizar el rol del trabajador en la Industria 4.0 y a evaluar si ha quedado relegado a un segundo plano con esta nueva etapa.

Ynzunza y otros señalan que la Industria 4.0 se refiere a una política económica basada en la aplicación de nuevas tecnologías de la información, tecnología digital y automatización en la producción.²¹ También abarca la manufactura, la prestación de servicios y la generación de negocios adicionales, destacando la capacidad de comunicación e intercambio de información entre humanos y máquinas.

En la figura 2 se muestra una representación esquemática de las principales tecnologías que conforman la Industria 4.0, las cuales se abordarán más adelante. La Cuarta Revolución Industrial se considera una nueva revolución, y no una mera continuación de la tercera, por tres razones: velocidad, escala e

¹⁹ C. Lee y C. Lim, “Del desarrollo tecnológico al avance social: una revisión de la Industria 4.0 a través del aprendizaje automático”, *Pronóstico Tecnológico y Cambio Social* 167 (2021): 120653, <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.120653>.

²⁰ Jesús del Carmen Peralta-Abarca, Beatriz Martínez-Bahena y Juana Enríquez-Urbano, “Industria 4.0”, *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos* 16, no. 39 (2020), <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8076976>.

²¹ Carmen Berenice Ynzunza Cortés, Juan Manuel Izar Landeta, Jacqueline Guadalupe Bocarando Chacón, Felipe Aguilar Pereyra y Martín Larios Osorio, “El entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras”, *Conciencia Tecnológica*, no. 54 (2017), <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/94454631006.pdf>.

impacto sistémico. No existe precedente histórico para el ritmo actual de progreso, que se desarrolla de manera exponencial y no lineal, afectando a casi todas las industrias en todos los países. La escala y profundidad de estos cambios implican transformaciones en todo el sistema de producción, gestión y control.²²

Figura 2. Tecnologías clave de la Industria 4.0



Fuente: Wearedrew (2019).

Para describir las tecnologías de la Industria 4.0, la literatura emplea términos como tecnologías disruptivas, emergentes y habilitadoras.²³ La teoría de la innovación disruptiva, elaborada por Christensen en 1997, define las tecnologías disruptivas como aquellas que alteran lo establecido, creciendo gradualmente hasta sustituir tecnologías dominantes.²⁴ Esta teoría, ampliamente discutida en ámbitos empresariales y académicos, explica cómo innovaciones inicialmente inferiores pueden superar modelos establecidos, transformando significativamente el mercado. Ho destaca que esta teoría es

²² Rocío Zalla, “Revolución Industrial 4.0: ¿Hacia dónde vamos?”, Instituto de Relaciones Internacionales, no. 8 (2020), http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/103050/Documento_completo.0.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

²³ Florelva Rozo-García, “Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0”, Revista UIS Ingenierías 19, no. 2 (2020), <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>.

²⁴ Florelva Rozo-García, “Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0”, Revista UIS Ingenierías 19, no. 2 (2020), <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>.

clave para comprender la transformación de mercados, aunque su aplicación requiere considerar contextos específicos y distinguir entre tipos de disrupción.²⁵

Las tecnologías emergentes, según Lengua-Cantero y otros, son innovaciones de nueva generación en constante evolución, posicionadas como tendencias de gran desarrollo en el ámbito industrial.²⁶ Por su parte, José María de Santiago, socio ejecutivo y vicepresidente de Gartner para Europa Occidental, describe las tecnologías habilitadoras como innovaciones con potencial para crear oportunidades y generar disrupciones significativas, permitiendo reaccionar rápidamente a cambios sociales y económicos, y mejorando la sociedad mediante su impacto en las personas.²⁷

Khan y otros subrayan que la Industria 4.0 contribuye a objetivos de economía circular, logrando beneficios sociales, económicos y ambientales, con un enfoque en el triple resultado, las Chains de suministro sostenibles y la sostenibilidad.²⁸ Esta investigación se centra en la adopción e implementación de la Industria 4.0, las cadenas de suministro sostenibles, las ciudades y fábricas inteligentes, considerando la economía circular y los modelos de negocio sostenibles como temas emergentes.

Esta investigación se centrará principalmente en la adopción e implementación de la Industria 4.0, cadenas de suministro sostenibles, ciudades inteligentes y sostenibles y fábricas inteligentes. La Economía Circular (EC) y los Modelos de Negocio Sostenibles (SBM) serán temas de investigación emergentes que se centrarán en la adopción e implementación de la Industria 4.0, así como en las cadenas de suministro sostenibles.

4.2. Tecnologías presentes en la Industria 4.0

4.2.1. Internet de las cosas (IoT)

Soori y otros definen el Internet de las Cosas (IoT) como un elemento clave en la transformación de fábricas tradicionales en fábricas inteligentes dentro de la

²⁵ J. Ho, "Innovación disruptiva desde la perspectiva de la teoría de la difusión de la innovación", *Technology Analysis & Strategic Management* 34 (2021): 363–376, <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1901873>.

²⁶ C. Lengua Cantero, G. Bernal Oviedo, W. Flórez Balboza y M. Velandia Fera, "Tecnologías emergentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje: Hacia el desarrollo del pensamiento crítico", *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 23, no. 3 (2020), <https://doi.org/10.6018/reifop.435611>.

²⁷ Junta de Andalucía, *Tecnologías habilitadoras: pilares cambio e innovación* (Sevilla: Junta de Andalucía, 2022), <https://andaluciaconectada.es/blog/mas-digital/tecnologias-habilitadoras-pilares-cambio-innovacion/>.

²⁸ I. Khan, M. Ahmad y J. Majava, "Industria 4.0 y desarrollo sostenible: Un mapeo sistemático de las perspectivas de triple resultado, economía circular y modelos de negocio sostenibles", *Revista de Producción Limpia* (2021), <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126655>.

Industria 4.0, mediante el uso de redes de dispositivos interconectados, sensores y software para supervisar y optimizar los procesos de producción.²⁹

El origen del IoT se sitúa en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y se refiere a la evolución de Internet, que ha permitido conectar a la red la mayoría de los objetos que nos rodean. Esto no se limita a dispositivos cotidianos como móviles, tabletas u ordenadores, sino que abarca áreas como la salud y la seguridad.³⁰ Laghari y otros explican que el IoT es un sistema que conecta dispositivos informáticos, máquinas mecánicas y digitales, objetos o personas con identificadores únicos (UID), permitiendo la transmisión de datos sin interacción directa de persona a persona o de ordenador a persona.³¹

Wójcicki y otros añaden que el término Internet de las Cosas se ha expandido junto con la visión de un mundo equipado con entradas y salidas inteligentes capaces de comunicarse mediante datos y tecnologías de Internet. Este concepto se implementa en diversas áreas de la economía moderna, como la atención sanitaria, el control de calidad, la logística, la energía, la agricultura y la producción.³² La Internet Industrial de las Cosas (IIoT) facilita una mejor comprensión de los procesos de fabricación, promoviendo una producción eficiente y sostenible.

El crecimiento del número de dispositivos conectados a la red ha aumentado exponencialmente en los últimos años, alcanzando una media de más de cuatro dispositivos por persona. Por ello, a modo de conclusión, en la figura 3 se muestra la evolución del número de dispositivos en función de la población mundial, preparando el terreno para definir en los siguientes puntos los conceptos clave del artículo.³³

²⁹ M. Soori, B. Arezoo y R. Dastres, "Inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo en robótica avanzada: una revisión", *Cognitive Robotics* 3 (2023): 54–70.

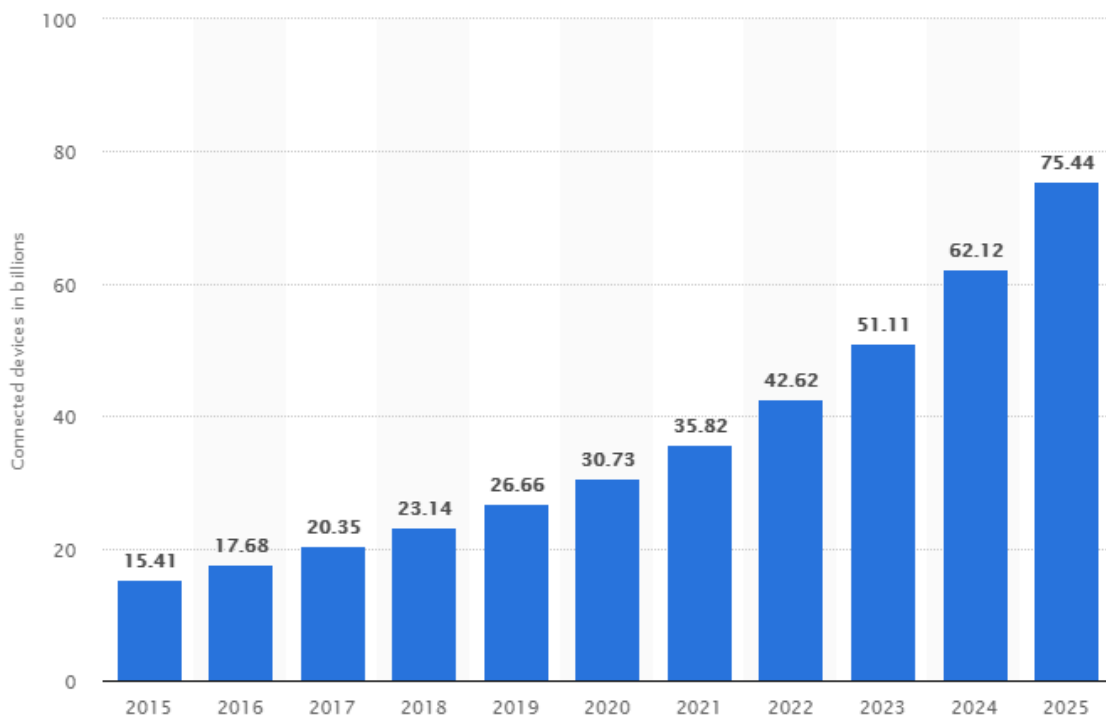
³⁰ L. F. Gélvez y L. M. Santos, "Internet de las cosas: una revisión de vulnerabilidades, amenazas y contramedidas", *Revista Ingenio* 17, no. 1 (2020): 6–64, <https://doi.org/10.22463/2011642x.2370>.

³¹ A. A. Laghari, K. Wu, R. A. Laghari, M. Ali y A. A. Khan, "Una revisión y estado del arte del Internet de las Cosas (IoT)", *Archivos de Métodos Computacionales en Ingeniería* (2021): 1–19.

³² K. Wójcicki, M. Biegańska, B. Paliwoda y J. Górna, "Internet de las cosas en la industria: perfiles de investigación, aplicaciones, desafíos y oportunidades: una revisión", *Energías* 15 (2022): 1806, <https://doi.org/10.3390/en15051806>.

³³ Archana Bachhav, Vilas Kharat, y Madhukar Shelar, "Processing Distributed Internet of Things Data with Query Optimization in Cloud", *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)* 6, no. 1 (2019): 1, <http://www.ijrar.org/IJRAR190O025.pdf>.

Figura 3. Evolución del número de dispositivos conectados



Fuente: hiberus blog (Learte 2018)

4.2.2. Sistemas Ciberfísicos (CPS)

García Ortega destaca que un sistema ciberfísico (CPS, por sus siglas en inglés) en la Industria 4.0 es un mecanismo físico, como una máquina, dotado de capacidades de computación y comunicación, conectado estrechamente a Internet para actuar e interactuar de manera inteligente con otros sistemas o personas.³⁴ Un ejemplo que pronto será cotidiano es el vehículo autónomo, capaz de convivir e interactuar con otros vehículos, pasajeros, mercancías, peatones y el tráfico. Esto se logra gracias a las ventajas de las nuevas tecnologías, como la hiperconectividad entre personas y equipos, y entre equipos mismos, facilitada por las actuales vías de comunicación; la capacidad de recolectar, enviar, almacenar y gestionar datos; y la autonomía e inteligencia de las máquinas, que asumen tareas tradicionalmente realizadas por humanos.

Los Sistemas Ciberfísicos Industriales (ICPS) abarcan el diseño, la simulación y el análisis de los CPS, con un enfoque especial en aplicaciones industriales. Los CPS se caracterizan por la integración y coordinación entre procesos físicos y sistemas informáticos mediante la comunicación en red de todos sus componentes. Por ello, no solo son sistemas complejos y de gran escala, sino

³⁴ García Ortega, "Sistemas ciberfísicos en la Industria 4.0" (2021).

que también cuentan con elementos distribuidos, descentralizados, en red, heterogéneos y semiautónomos.³⁵

Es importante subrayar que los ICPS son fundamentales para la evolución de la Industria 4.0, ya que ofrecen mejoras significativas en el monitoreo, el control y la seguridad.³⁶

4.2.3. Ciberseguridad

José Valiente, director del Centro de Ciberseguridad Industrial (CCI), define la ciberseguridad como “el conjunto de prácticas, procesos y tecnologías diseñados para gestionar el riesgo del ciberespacio derivado del uso, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información utilizada en organizaciones e infraestructuras industriales, considerando las perspectivas de personas, procesos y tecnologías”.³⁷

4.2.4. Cloud Computing - Edge Computing

El Edge Computing se define como una solución para optimizar los procesos informáticos sin depender exclusivamente de la nube para procesar los datos recolectados por los dispositivos que integran el Internet de las Cosas (IoT).³⁸

Kaur y otros señalan que los avances en Edge Computing están haciendo que la combinación Edge-Cloud sea más adecuada para usuarios finales en transacciones basadas en blockchain y en la Industria 4.0, satisfaciendo los requisitos de aplicaciones basadas en IoT.³⁹

4.2.5. Big Data

La integración del análisis de conjuntos de Big Data en el ámbito industrial puede optimizar la calidad de la producción, mejorar la eficiencia energética y el mantenimiento de equipos, aumentar el rendimiento y el control operativos, y reducir los costos operativos, incrementando en última instancia la eficiencia del servicio. Recopilar y analizar datos de diversas fuentes, no solo de

³⁵ Alberto Villalonga Jaén, Fernando Castaño Romero, Rodolfo Haber Guerra, Gerardo Beruvides López y Javier Arenas, “El control de sistemas ciberfísicos industriales: Revisión y primera aproximación” (trabajo de pregrado, Universidad de Extremadura, 2018), <http://hdl.handle.net/10662/8777>.

³⁶ Yuchen Jiang, Shen Yin y O. Kaynak, “Monitoreo basado en datos y control de seguridad de sistemas ciberfísicos industriales: conceptos básicos y más allá”, *IEEE Access* 6 (2018): 47374–47384, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2866403>.

³⁷ Florelva Roza-García, “Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0”, *Revista UIS Ingenierías* 19, no. 2 (2020), <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>.

³⁸ Inés Sittón-Candanedo, Ricardo S. Alonso, Lilia Muñoz y Sara Rodríguez-González, “Arquitecturas de referencia Edge Computing para la Industria 4.0: una revisión” (trabajo de posgrado, Universidad Tecnológica de Panamá, 2019), <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/2284>.

³⁹ M. Kaur, A. Jadhav y F. Akter, “Selección de recursos de Edge-Cloud para IIoT y aplicaciones basadas en blockchain en la industria 4.0/5.0”, *Seguridad y Redes de Comunicación* (2022), <https://doi.org/10.1155/2022/9314052>.

máquinas, constituye una herramienta clave en el proceso de toma de decisiones.⁴⁰

4.3. Análisis sobre la automatización y el trabajo humano

Hasta ahora hemos explorado las principales tecnologías de la Industria 4.0, explicando algunas de las más relevantes. En este apartado buscamos responder a la pregunta planteada anteriormente: ¿cómo afectan los cambios en la industria al trabajador y a la transformación de la sociedad? A lo largo del trabajo hemos observado que la industria ha estado en constante evolución, y la automatización y la innovación han impactado directamente en fábricas y procesos productivos, dando lugar a las denominadas “fábricas autónomas”. Esto nos lleva a interrogarnos: ¿cómo afecta esto al trabajador?, ¿se vuelve reemplazable?, ¿disminuye su valor dentro de la empresa?

La Industria 4.0 representa una transformación significativa en la fabricación, integrando tecnologías avanzadas como la automatización, la digitalización y la inteligencia artificial. Esta revolución no solo afecta a máquinas y procesos, sino también al rol y las condiciones laborales de los operadores humanos. Estos avances podrían englobarse en la automatización y la Inteligencia Artificial (IA).⁴¹

Zarte y otros destacan que un aspecto clave de la transición hacia la Industria 4.0 es el énfasis en la centralidad humana, promoviendo una simbiosis entre humanos y automatización.⁴² Esta cooperación, en lugar de reemplazar las habilidades humanas, busca combinarlas con las máquinas para hacer a los trabajadores más eficientes y efectivos, alejándose de actividades independientes hacia sistemas de trabajo conjuntos.

Hace años, los investigadores advertían que muchos empleos existentes desaparecerían, por lo que empresas y trabajadores debían actualizar esos puestos hacia áreas relacionadas con los avances tecnológicos para evitar el desempleo. Además, era crucial preparar a los futuros profesionales con un conocimiento multidisciplinario y competencias digitales que respondieran a las necesidades emergentes de las empresas, las cuales demandan roles en constante desarrollo.

En palabras de Perasso: “A pesar de la disminución de las ocupaciones tradicionales, la revolución industrial 4.0 impulsará el surgimiento de nuevas

⁴⁰ Xavier Ayneto Gubert, “Revista de Ingeniería de Organización”, DyO, 2019, <https://revistadyo.es/DyO/index.php/dyo>.

⁴¹ Álvaro Choi, “España ante la Revolución Industrial 4.0: mercado laboral y formación”, Araucaria: Revista Iberoamericana de Filosofía, Política, Humanidades y Relaciones Internacionales 23, no. 46 (2021), <https://revistascientificas.us.es/index.php/araucaria/article/view/17337/15422>.

⁴² M. Zarte, A. Pechmann e I. L. Nunes, “Principios para el diseño de sistemas centrados en el ser humano en la industria 4.0: una revisión sistemática de la literatura”, en Avances en Factores Humanos e Interacción de Sistemas: Actas de la Conferencia Virtual AHFE 2020 sobre Factores Humanos e Interacción de Sistemas, 16–20 de julio de 2020, EE. UU., ed. Isabel L. Nunes (Cham: Springer, 2020), 140–147.

plazas de empleo en torno a la automatización total de la manufactura industrial, enfocadas en aspectos como la creatividad y el liderazgo, que la alta tecnología no puede desempeñar”.⁴³ Cunha y otros añaden que la Industria 4.0 promete entornos laborales más seguros y productivos, aunque los riesgos, las condiciones de empleo y los impactos en la salud aún están poco explorados.⁴⁴

La sociedad actual experimenta cambios continuos no solo en la economía, sino en su conjunto. En la “nueva sociedad del conocimiento digital” emergen formas de trabajo que requieren adaptación. Navarrete señala que estas nuevas dinámicas laborales hacen desaparecer el modelo clásico de empleo seguro y de calidad; mantenerlo exigiría una profunda reforma de las leyes laborales y la cultura sindical.⁴⁵ El presidente de la Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE) lo resume así: “El trabajo seguro es un concepto del siglo XIX; en el siglo XXI será incierto y exigirá ganárselo día a día”.

La sustitución de trabajadores por robots es una realidad cotidiana. Noticias frecuentes informan sobre empresas que reemplazan empleados con máquinas o automatizan sus tareas. Una búsqueda en Internet sobre “empresas y robots” revela numerosos casos: Amazon emplea más de 100,000 robots en sus plantas, Zara opera 14 fábricas automatizadas solo en España, y Tesla construye una instalación del tamaño de 100 campos de fútbol casi completamente automatizada.⁴⁶ En China, líder en robotización, se estima que más de un millón de “trabajadores artificiales” están operativos, con proyecciones de crecimiento continuo, incluyendo hoteles atendidos por robots, taxis sin conductor y autobuses autónomos. Esta realidad ya está presente: en gasolineras nos autoservimos, en restaurantes robots entregan la comida, y así sucesivamente. La colaboración entre humanos y robots en entornos industriales puede mejorar la eficiencia al combinar la precisión y flexibilidad de las máquinas con las habilidades cognitivas humanas, aunque requiere abordar la seguridad y diseñar interfaces intuitivas para una cooperación eficaz.

Entonces, ¿cómo revertir esta situación? ¿Qué características deben tener los trabajadores para destacar ante las empresas? ¿Cómo hacerlos indispensables? Los estudios consultados coinciden en que el trabajador se está volviendo reemplazable y que muchos empleos pueden ser asumidos por máquinas. Algunas empresas prefieren el costo inicial de los robots antes que los asociados a un empleado, lo que plantea un problema urgente de presente

⁴³ R. Pablo Guerra y G. Armando Ortiz, “La industria 4.0 y su relación con la gestión de los recursos humanos”, *Daena: International Journal of Good Conscience* 15, no. 3 (2020): 1–21, [http://www.spentamexico.org/v15-n3/A9.15\(3\)1-21.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n3/A9.15(3)1-21.pdf).

⁴⁴ E. P. Cunha y G. P. A. Mendes, “Capacidades estatais da administração política da inovação tecnológica no contexto da indústria 4.0 no Brasil”, *Administração Pública e Gestão Social* 14, no. 1 (2022).

⁴⁵ Cristóbal Molina Navarrete, *Cristóbal Molina y el trabajo en la era digital* (Madrid: FESMC-UGT, 2017), https://negociacioncolectiva.fesmcutg.org/wpcontent/uploads/sites/49/2019/05/cristobal_molina_derecho_y_trabajo_en_la_era_digital.pdf.

⁴⁶ Eugenio M. Fernández Aguilar, “Las empresas que ya están sustituyendo a humanos por robots”, *Muy Interesante*, 2021, <https://www.muyinteresante.es/actualidad/37692.html>.

y futuro que exige soluciones inmediatas para evitar una sociedad donde los robots trabajen mientras los humanos observan.

Sima y otros indican que la revolución de la Industria 4.0 influye en el desarrollo del capital humano y el comportamiento del consumidor a través de la información, nuevos empleos, tecnología, capacitación, educación, habilidades, automatización, comunicación, innovación e Internet de las Cosas.⁴⁷ La automatización y la digitalización, como procesos evolutivos de largo plazo, transforman ocupaciones, perfiles laborales y formas de empleo, incrementando el rol de la economía de plataformas y generando desafíos para la política social.

La automatización obliga a las personas a ofrecer su mejor versión para acceder a un empleo, aunque, como se mencionó, el trabajo garantizado es un concepto del pasado.

Anteriormente nos preguntábamos qué características deben tener los trabajadores para destacar ante las empresas. Alex Gray, escritor sobre el sistema financiero global, identificó diez destrezas esenciales en los perfiles laborales actuales impulsadas por la automatización: resolución de problemas complejos, pensamiento crítico, creatividad, manejo de personas, coordinación con otros, inteligencia emocional, capacidad de juicio y toma de decisiones, orientación al servicio, negociación y flexibilidad cognitiva.⁴⁸ En la ilustración 4 se presenta una tabla que resume estas aptitudes.

- Resolución de problemas complejos
- Pensamiento crítico
- Creatividad
- Manejo de Personas
- Coordinación con otros
- Inteligencia emocional
- Juzgar y tomar decisiones
- Orientación de servicios
- Negociación
- Flexibilidad Cognitiva

⁴⁷ V. Sima, I. G. Gheorghe, J. Subić y D. Nancu, “Influences of the Industry 4.0 Revolution on the Human Capital Development and Consumer Behavior: A Systematic Review”, *Sustainability* 12, no. 10 (2020): 4035.

⁴⁸ R. Pablo Guerra y G. Armando Ortiz, “La industria 4.0 y su relación con la gestión de los recursos humanos”, *Daena: International Journal of Good Conscience* 15, no. 3 (2020): 1–21, [http://www.spentamexico.org/v15-n3/A9.15\(3\)1-21.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n3/A9.15(3)1-21.pdf).

Figura 4. Aptitudes en las "fábricas autónomas".

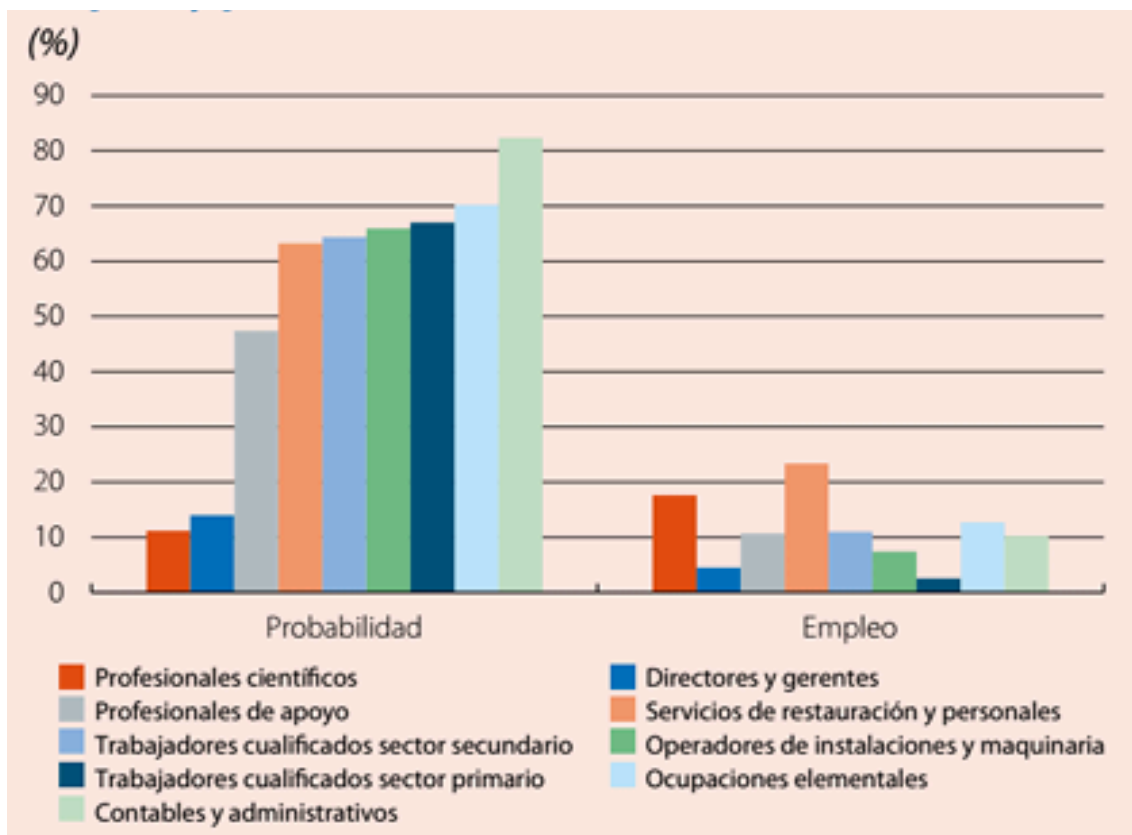
	Tiene que (Must)...	Debe (Should)...	Puede(Could)...
Conocimientos y habilidades técnicas	Conocimientos y habilidades en tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC)	Gestión del conocimiento(KM)	Habilidades de programación informática
	Proceso y análisis de datos e información	Conocimientos interdisciplinarios genéricos sobre tecnologías y organizaciones	Conocimiento especializado de tecnologías: VR, AR, AM, IA, IoT, sensores, robótica, etc.
	Conocimientos sobre estadística	Conocimiento específico de las actividades y procesos de fabricación	Concienciación acerca de la ergonomía
	Compresión de las organizaciones y los procesos		
	Capacidad para interactuar con los interfaces modernas: HMI, HRI	Concienciación sobre seguridad y protección de datos	Comprender las cuestiones legales
Conocimientos y habilidades personales	Autogestión y gestión del tiempo	Confianza en las nuevas tecnologías	
	Flexibilidad y adaptación al cambio	Mentalidad de mejora continua y formación continua	
	Habilidades para el trabajo en equipo		
	Habilidades sociales		
	Habilidades Comunicativas		

Fuente: revistadyo.com (Gubert 2019)

No todos los trabajos enfrentan el mismo grado de automatización; este varía según el sector o tipo de ocupación. En la figura 5 se ofrece un resumen de ciertos trabajos y su nivel esperado de automatización. Ante este panorama, donde el ser humano parece destinado a ser reemplazado por máquinas y reducido a un espectador, surge un rayo de esperanza ligado al pensamiento humano. La capacidad de razonar, resolver problemas, aprender y mejorar hace a los trabajadores indispensables en la industria, impidiendo una sustitución total, ya que los robots carecen de estas cualidades.⁴⁹ Un objetivo clave de la Industria 4.0 es eliminar los trabajos físicos pesados, delegándolos a las máquinas.

⁴⁹ H. Ariadna, V. M. Elías y M. P. Mary, Retos de la gestión del talento humano en la industria 4.0 (Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2020), <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/3490eb3e-8a74-48c2-92d6-5c62b5d5d092>.

Figura 5. Empleo y probabilidad de automatización.



Fuente: Caixabank Research, a partir de datos de Frey y Osborne (2013) y del INE

Sin embargo, la posibilidad de que los empleos sean asumidos por robots es alta, y la mayoría de los estudios analizados sugieren que esta sustitución ocurrirá tarde o temprano en todos los sectores posibles. Pero ¿qué opina la población al respecto? ¿Les preocupa tanto como a quienes elaboramos este informe? Según la Encuesta sobre Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología 2022 de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), seis de cada diez españoles han oído sobre inteligencia artificial o robots; el 61% considera estar suficientemente formado para aprovechar las oportunidades de las nuevas tecnologías, mientras que el 18% cree lo contrario. El 39,5% piensa que la introducción de robots en el trabajo trae más beneficios que riesgos (un 5% más que en 2020), aunque siete de cada diez perciben un mayor riesgo de desempleo. Finalmente, el 55% opina que los robots mejoran la competitividad empresarial.⁵⁰

⁵⁰ FECYT, Encuestas de percepción social de la ciencia y la tecnología en España (Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2022), <https://www.fecyt.es/es/noticia/encuestas-de-percepcion-social-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-espana>.

Longo y otros destacan que, con la Industria 4.0, las tareas diarias de los operadores humanos se vuelven más complejas, exigiendo alta flexibilidad y capacidad de adaptación en entornos dinámicos.⁵¹ Esto requiere herramientas y enfoques integrables en la práctica diaria, combinando metodologías complejas con alta usabilidad.

El debate académico sobre innovación y automatización refleja una gran complejidad en sus efectos laborales, sociales, económicos y culturales. Sánchez identifica cuatro enfoques alternativos: un enfoque pragmático, basado en experiencias reales con la automatización; una automatización de integración, que apuesta por una robotización inclusiva mediante la recalificación laboral; la heteromatización, que resalta la indispensabilidad del trabajo humano durante la robotización; y el enfoque dominante de automatización de sustitución, donde el trabajo humano es reemplazado por máquinas.⁵²

Muchos autores adoptan una visión negativa, argumentando que los robots sustituirán a los humanos. Sin embargo, otros sostienen que la automatización aumentará el consumo y la demanda, requiriendo más robots y, por ende, más humanos para supervisarlos, manteniendo o incluso incrementando los empleos existentes.⁵³ Todos coinciden en ciertos puntos: costes de transición a corto plazo para la adaptación empresarial, mayor exigencia en cualificaciones y habilidades, y una redistribución de empleos entre sectores (véase figura 4 para grados de automatización).⁵⁴

Algunos sectores verán reducidos sus empleos, mientras que otros generarán nuevas oportunidades o demandarán más trabajadores. Un ejemplo es el de los ingenieros industriales: según el primer estudio del Observatorio de la Ingeniería de España de 2022, las empresas necesitarán más de 20,000

⁵¹ F. Longo, L. Nicoletti y A. Padovano, "Operadores inteligentes en la industria 4.0: Un enfoque centrado en el ser humano para mejorar las capacidades y competencias de los operadores en el nuevo contexto de las fábricas inteligentes", ArXiv (2017), <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>.

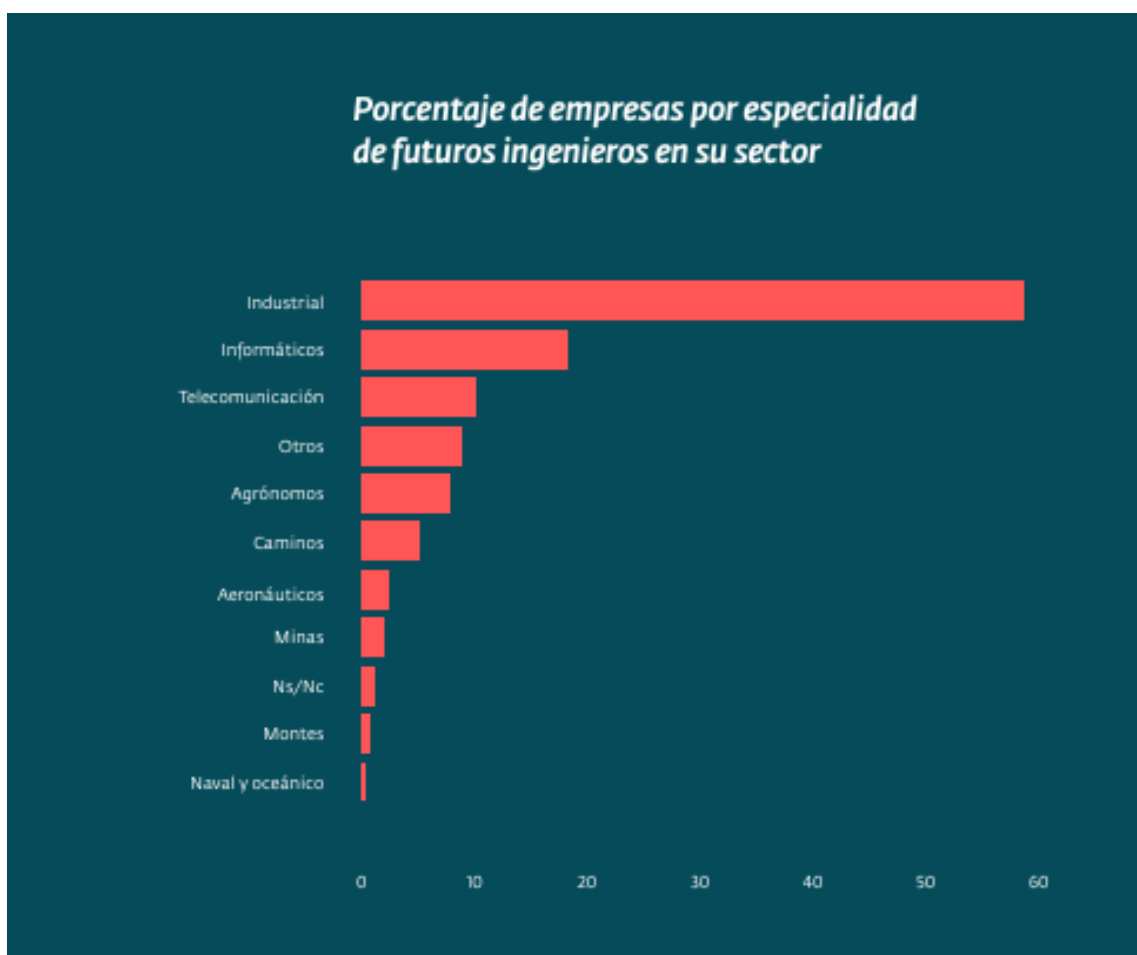
⁵² Arturo Lahera Sánchez, "El debate sobre la digitalización y la robotización del trabajo (humano) del futuro: Automatización de sustitución, pragmatismo tecnológico, automatización de integración y heteromatización", *Revista Española de Sociología* 30, no. 3 (2021), <https://doi.org/10.22325/fes/res.2021.66>.

⁵³ Daron Acemoglu y Pascual Restrepo, *Oficina Nacional de Investigación Económica* (Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2017), <https://www.nber.org/papers/w23285>; [Nombre] David y [Nombre] Salomons, *European Central Bank* (Frankfurt: European Central Bank, 2017), https://www.ecb.europa.eu/pub/conferences/shared/pdf/20170626_ecb_forum/Autor-Salomons-Productivity-Presentation.pdf; Wolfgang Dauth, Sebastian Findeisen, Jens Südekum y Nicole Wößner, *German Robots: The Impact of Industrial Robots on Workers* (Nuremberg: Institute for Employment Research, 2017), <https://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp3017.pdf>.

⁵⁴ Álvaro Choi, "España ante la Revolución Industrial 4.0: mercado laboral y formación", *Araucaria: Revista Iberoamericana de Filosofía, Política, Humanidades y Relaciones Internacionales* 23, no. 46 (2021), <https://revistascientificas.us.es/index.php/araucaria/article/view/17337/15422>.

ingenieros en los próximos diez años.⁵⁵ La figura 6 muestra una gráfica con los tipos de ingenieros requeridos en España en ese período, destacando que más del 60% serán industriales. Además, el 86% de las empresas prevén incorporar ingenieros en la próxima década.

Figura 6. Demanda futura de ingenieros.



Fuente: Observatorio de la Ingeniería de España (España 2022)

La conclusión de este análisis es que, con políticas adecuadas, es posible equilibrar los beneficios económicos de la automatización con la necesidad de recualificación, permitiendo a la sociedad aprovechar la mayor eficiencia y productividad mientras enfrenta los desafíos del cambio.

Discusiones y conclusiones

Como hemos podido observar en este artículo, hemos iniciado introduciendo el concepto la Industria 4.0 y las principales tecnologías que la forman para luego

⁵⁵ Observatorio de la Ingeniería de España, Observatorio de Ingeniería de España (2022), <http://www.observatorioingenieria.es/>.

tratar de resumir como afectan estas tecnologías a la sociedad comentando los cambios que se han de producir en el mercado laboral en los próximos años para poder hacerlas frente, así como las aptitudes que serán requeridas por aquellos que formen parte de la población activa en el futuro.

Recordamos que la automatización no es un objetivo de la Industria 4.0 sin embargo, es un posibilitador de cambios en nuestra industria que generará los diferentes cambios que hemos mencionamos anteriormente en el artículo.

Está claro que nos dirigimos hacia un nuevo paradigma industrial promovido por todos los cambios económicos, sociales y culturales que están teniendo lugar en nuestra sociedad. Tras la revisión de todos los artículos observamos que no hay una opinión consensuada sobre cuál es el destino que nos espera en el entorno laboral ya que cada autor aprovecha las bases existentes para sacar sus propias conclusiones y desarrollar su teoría.

El proceso de revolución en el que nos encontramos supone un gran reto no solo para empresas sino para toda la cadena de valor industrial donde se incluyen las escuelas y universidades de todo el mundo, en especial, todas aquellas carreras técnicas que deberán encargarse de transformar a los estudiantes en profesionales adquieran todas las competencias necesarias. Este proceso no es fácil ya que las instituciones educativas no suelen ser ágiles y existe un riesgo de que la velocidad de cambio externo sea mayor que la capacidad de adaptación de las mismas.

En un contexto de Industria 4.0, el desarrollo sostenible contribuye a los objetivos de la Economía Circular (EC) mediante el desarrollo de SBM (asegurar beneficios sociales, económicos y ambientales). Como el triple resultado final es el tema de investigación de sostenibilidad más estudiado, se debe prestar más atención a la EC y los SBM y sus sinergias.

La Industria 4.0 representa una transformación profunda en la manufactura y otros sectores, impulsada por tecnologías avanzadas. Los desafíos clave incluyen la interoperabilidad, la falta de recursos y la necesidad de integración sociotécnica. Sin embargo, su potencial para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia es significativo. Para aprovechar plenamente sus beneficios, es crucial desarrollar marcos conceptuales y metodologías claras que faciliten su implementación y evaluación.

Las tecnologías de la Industria 4.0 pueden posibilitar una producción semiautomatizada y totalmente automatizada, pero los sistemas de fabricación futuros seguirán requiriendo que los humanos proporcionen mediación de supervisión incluso para escenarios de producción autónomos.

Como hemos dicho, no existe una opinión consensuada sobre el futuro que nos espera, tras la revisión de todos los artículos citados podemos concluir que no nos espera un futuro tan negro como algunos predicen, indudablemente se van a perder muchos puestos de trabajo en ciertos sectores de la industria pero que a cambio surgirán otros nuevos en sectores existentes o en sectores que

incluso aún no han sido creados. Es cierto que, de acuerdo con la totalidad de todos los autores necesitamos formar a los futuros trabajadores de una forma perfecta, aportándoles habilidades y aptitudes que los conviertan en trabajadores esenciales para las empresas, debemos convencer a las empresas de que las características que posee el ser humano no pueden ser sustituidas por los robots y que es necesario buscar una convivencia entre ambos para el correcto desarrollo de la industria.

La Industria 4.0 ha llegado para quedarse y todavía no conocemos el techo que puede alcanzar. Lo que si debemos tener claro es que debemos formarnos y prepararnos para que la evolución de esta Industria no nos supere y nos deje atrás convirtiéndonos en seres innecesarios para las empresas.

Debido a la velocidad vertiginosa a la que se está produciendo los cambios es necesario que se deben investigar y explorar nuevas formas de cooperación entre las empresas y el sector educativo, consiguiendo que exista entre ambos una retroalimentación constante. Por ejemplo, para fomentar esta cooperación se podrían implementar nuevas formas de cooperación entre universidad y empresas, se podrían fomentar talleres en las universidades desarrollados por las grandes empresas para despertar en el estudiante la curiosidad y las ganas de aprender, etc.

En conclusión, la llegada de la Industria 4.0 abre la puerta a numerosas investigaciones que se podrían llevar a cabo sobre cómo esta está afectando en los diversos países y mercados en los que está teniendo lugar. En este artículo, hemos tratado de explicar cómo está afectando a la sociedad y a la economía y hemos tratado de exponer los perfiles que deberían presentar los futuros trabajadores. Como punto de reflexión hemos tratado si la automatización va a acabar con el trabajo humano o si por el contrario lo va a fomentar.

Las noticias que vemos a diario son la de la sustitución de trabajadores por robots, sin embargo, quien sabe cómo seguirá evolucionando la industria 4.0 y hasta qué punto seremos reemplazables. Además, la transición hacia la Industria 5.0 promete un enfoque más humano y sostenible, alineando la tecnología con las necesidades sociales emergentes.

Es así como, para aprovechar plenamente los beneficios de la Industria 4.0, es crucial que las empresas, gobiernos y trabajadores se adapten, invirtiendo en formación y recualificación para satisfacer las demandas de este nuevo paradigma tecnológico que está redefiniendo la forma en que producimos, trabajamos y vivimos.

Bibliografía

- Acemoglu, Daron, y Pascual Restrepo. *Oficina Nacional de Investigación Económica*. 2017. <https://www.nber.org/papers/w23285>.
- Ariadna, H., V. M. Elías, y M. P. Mary. *Retos de la gestión del talento humano en la industria 4.0*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2020. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/3490eb3e-8a74-48c2-92d6-5c62b5d5d092>.
- Antonio Escudero. *Fundación Rama*. 2009. <https://fundacion-rama.com/wp-content/uploads/2022/08/2150LA1.pdf>.
- Arango, Miguel Dueñas. “Revoluciones Industriales”. 2019. <https://es.linkedin.com/pulse/revoluciones-industriales-miguel-due%C3%B1as-arango>.
- Badii, M. H., A. Guillen, D. Castillo-Martínez, M. García-Martínez, y J. L. Abreu. *Instituto de Estudios Superiores Spenta de México*. 2020. [http://www.spentamexico.org/v15-n1/A4.15\(1\)40-51.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n1/A4.15(1)40-51.pdf).
- Castells, Manuel. *La revolución de la tecnología*. 1999. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37953570/castells-m.-la-rev-de-la-tec-de-l-a-info-libre.pdf?1434817356=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_revolucion_de_la_tecnologia_de_la_inf.pdf.
- Choi, Álvaro. *España ante la Revolución Industrial 4.0: mercado laboral y formación*. 2021. <https://revistascientificas.us.es/index.php/araucaria/article/view/17337/15422>.
- Coyoli Pereyra, Dulce María. “La calidad de vida a través de los sentimientos en las revoluciones industriales”. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México, 2022. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/137249>.
- Cunningham, Roberto E. *Instituto de Energías Renovables, UNAM*. 2003. <https://www.ier.unam.mx/~rbb/ERyS2013-1/Historia-Energia.pdf>.
- David y Salomons. *European Central Bank*. 2017. https://www.ecb.europa.eu/pub/conferences/shared/pdf/20170626_ecb_forum/Autor-Salomons-Productivity-Presentation.pdf.
- Dauth, Wolfgang, Sebastian Findeisen, Jens Südekum, y Nicole Wößner. 2017. <https://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp3017.pdf>.
- Evans, Dave. “Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo”. 2011. <https://audentia-gestion.fr/cisco/IoT/internet-of-things-iot-ibsg.pdf>.
- FECYT. *Encuestas de percepción social de la ciencia y la tecnología en España*. 2022. <https://www.fecyt.es/es/noticia/encuestas-de-percepcion-social-de-la-ciencia-y-l>

[a-tecnologia-en-espana.](#)

- Fernández Aguilar, Eugenio M. "Las empresas que ya están sustituyendo a humanos por robots". 2021. <https://www.muyinteresante.es/actualidad/37692.html>.
- Gayubas, Augusto. "Segunda Revolución Industrial". 2017. <https://humanidades.com/segunda-revolucion-industrial/>.
- Gélvez, L. F., y L. M. Santos. "Internet de las cosas: una revisión de vulnerabilidades, amenazas y contramedidas". *Revista Ingenio* 17, no. 1 (2020): 6-64. <https://doi.org/10.22463/2011642x.2370>.
- González-Hernández, Isidro Jesús, Rosa I. Romero-Torres, Andrik E. Castillo-Leyva, Sabrina A. Fernández-Amador, Juan Á. Juárez-García, y Francisca Santana-Robles. "La evolución tecnológica de los sistemas de fabricación y la ciencia estadística". *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún* 8, no. 16 (2021). <https://doi.org/10.29057/escs.v8i16.7120>.
- González-Hernández, Isidro Jesús, Berenice Armas-Alvarez, Melanie Coronel-Lazcano, Nereida Maldonado-López, Osmara Vergara-Martínez, y Rafael Granillo-Macías. "El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales". *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún* 8, no. 16 (2021). <https://doi.org/10.29057/escs.v8i16.7118>.
- Granados Carreño, Ricardo, Jhonatan Carreño, y Jhonathan Stiven Duarte Camacho. "Evolución de la Ingeniería Industrial desde la primera revolución industrial, hasta la industria 4.0". Repositorio Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2018. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/21969/2018_Articulo_Duarte_Camacho_Jhonathan_Stiven.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Gubert, Xavier Ayneto. *Revista de Ingeniería de Organización*. 2019. <https://revistadyo.es/DyO/index.php/dyo>.
- Guerra, R. Pablo, y G. Armando Ortiz. "La industria 4.0 y su relación con la Gestión de los Recursos Humanos". *Daena: International Journal of Good Conscience* 15, no. 3 (2020). [http://www.spentamexico.org/v15-n3/A9.15\(3\)1-21.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n3/A9.15(3)1-21.pdf).
- Junta de Andalucía. "Tecnologías habilitadoras: pilares cambio e innovación". 2022. <https://andaluciaconectada.es/blog/mas-digital/tecnologias-habilitadoras-pilares-cambio-innovacion/>.
- Lahera Sánchez, Arturo. "El Debate Sobre La digitalización Y La robotización Del Trabajo (humano) Del Futuro: Automatización De sustitución, Pragmatismo tecnológico, automatización De integración Y heteromatización". *Revista Española De Sociología* 30, no. 3 (2021). <https://doi.org/10.22325/fes/res.2021.66>.
- Learte, Jorge. "Introducción al IoT: Internet of Things". 2018. <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/introduccion-al-iot-internet-of-things/>

- Lengua Cantero, C., G. Bernal Oviedo, W. Flórez Balboza, y M. Velandia Feria. "Tecnologías Emergentes En El Proceso De enseñanza-Aprendizaje: Hacia El Desarrollo Del Pensamiento crítico". *Revista Electrónica Interuniversitaria De Formación Del Profesorado* 23, no. 3 (2020). <https://doi.org/10.6018/reifop.435611>.
- Montes Buriticá, Michell, y Katerine Marín Giraldo. "¿Qué impacto tiene la cuarta Revolución Industrial en la profesión contable en Colombia?". Medellín: Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, 2020. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/612>.
- Navarrete, Cristóbal Molina. *Cristóbal Molina y el trabajo en la era digital*. 2017. https://negociacioncolectiva.fesmcutg.org/wpcontent/uploads/sites/49/2019/05/cristobal_molina_derecho_y_trabajo_en_la_era_digital.pdf.
- Observatorio de la Ingeniería de España. *Observatorio de ingeniería de España*. 2022. <http://www.observatorioingenieria.es/>.
- Ominami, Carlos. "América Latina y la Tercera Revolución Industrial". *Estudios Internacionales* 19, no. 76 (1986): 407–19. <http://www.jstor.org/stable/41391219>.
- Palmero, S. "La Revolución Industrial en Inglaterra: orígenes, realizaciones y consecuencias". Trabajo de pregrado, Universidad de Valladolid, 2022. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/58782>.
- Peralta-Abarca, Jesús del Carmen, Beatriz Martínez-Bahena, y Juana Enríquez-Urbano. "Industria 4.0". *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos* 16, no. 39 (2020). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8076976>.
- Roel, Virgilio. *La Tercera Revolución Industrial y la Era del Conocimiento*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos: UNMSM, 1998. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/Historia/tercera_revolut/archivos%20PDF/prefacio_breveintroduccion.pdf.
- Rozo-García, Florelva. "Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0". *Revista UIS Ingenierías* 19, no. 2 (2020). <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>.
- Sieber, Sandra, y Josep Valor. "Efectos de las Innovaciones en la industria". *Cuadernos del eb center: Technological Innovation Project*. 2007. <https://media.iese.edu/research/pdfs/ESTUDIO-53.pdf>.
- Sittón-Candanedo, Inés, Ricardo S. Alonso, Lilia Muñoz, y Sara Rodríguez-González. "Arquitecturas de Referencia Edge Computing para la Industria 4.0: una revisión". Trabajo de pregrado, Universidad Tecnológica de Panamá, 2019. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/2284>.
- Torrent i Sellens, Joan. "De La Nueva Economía A La Economía Del Conocimiento. Hacia La Tercera Revolución Industrial". *Revista de la economía mundial*, no. 7 (2002). <https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/418/b1215529.pdf?sequen>

[ce=1](#).

Villalonga Jaén, Alberto, Fernando Castaño Romero, Rodolfo Haber Guerra, Gerardo Beruvides López, y Javier Arenas. "El control de sistemas ciberfísicos industriales. Revisión y primera aproximación". Trabajo de pregrado, Universidad de Extremadura, 2018. <http://hdl.handle.net/10662/8777>.

Ynzunza Cortés, Carmen Berenice, Juan Manuel Izar Landeta, Jacqueline Guadalupe Bocarando Chacón, Felipe Aguilar Pereyra, y Martín Larios Osorio. "El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras". *Conciencia Tecnológica*, no. 54 (2017). <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/94454631006.pdf>.

Zalla, Rocío. "Revolución Industrial 4.0: ¿Hacia dónde vamos?". *Instituto de Relaciones Internacionales*, no. 8 (2020). http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/103050/Documento_completo_0.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Zambrano Romero, Walter José, y Jaime Alcides Meza Hormaza. "Impacto de las tecnologías disruptivas en el proceso de enseñanza - aprendizaje: caso UTM online". *RCUISRAEL* 9, no. 1 (2022). http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S263127862022000100029&script=sci_arttext.

**REVISTA
INCLUSIONES**
M.R.

**CUADERNOS DE SOFÍA
EDITORIAL**

Las opiniones, análisis y conclusiones del autor son de su responsabilidad y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Inclusiones**.