

Factores tecnológicos, medioambientales y socioculturales habilitadores de Industria 5.0: revisión sistemática

María Ayelén Zanitti

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Ingeniería Industrial, Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

maria.ayelen.zanitti@gmail.com

Recibido el 5 de julio de 2024, aprobado el 2 de agosto de 2024

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación es identificar todos los factores que se vuelven relevantes a la hora de ejecutar una implementación de la Industria 5.0 en los planos tecnológicos, medioambientales y socioculturales, mediante una revisión sistemática. La revisión sistémica ha arrojado aproximadamente 321 publicaciones, de las cuales se han seleccionado 17, que son las que sintetizan los factores intervinientes. Se han podido identificar 24 factores en la literatura, los cuales se estructuraron en tres ejes: el eje tecnológico, el sociocultural y el medioambiental. Dentro de esos ejes principales, se hallaron que 16 son factores tecnológicos, 2 son medioambientales y 6 fueron definidos como socioculturales.

PALABRAS CLAVE: INDUSTRIA 5.0 - HABILITADORES TECNOLÓGICOS - ORGANIZACIÓN - INDUSTRIA - FACTOR HUMANO - MEDIOAMBIENTE - CULTURA

Abstract

The aim of this research is to identify through a systematic review, all the factors within technological, environmental and socio-cultural contexts that are relevant when running an Industry 5.0 implementation. The systemic review allowed the identification of 321 publications, of which 17 were selected, because they are the ones that synthesize the intervening factors. 24 factors are mentioned in the studied literature and they were structured in three ways: technological, sociocultural and environmental axes. Within these main areas, 16 were found to be technological factors, 2 were environmental and 6 were defined as socio-cultural.

KEYWORDS: INDUSTRY 5.0 - TECHNOLOGICAL ENABLERS – ORGANIZATION – INDUSTRY - HUMAN FACTOR – ENVIRONMENT - CULTURE

Introducción

La Industria 4.0 nació hace más de diez años, por lo cual, podía pensarse que faltaría mucho tiempo para la llegada de una nueva revolución. No obstante, los avances tecnológicos y las sociedades del conocimiento hacen que cada vez, las revoluciones sean menos espaciadas en el tiempo. En el año 2020 comenzó a resonar el término de “Industria 5.0”, la cual presenta todos los cambios tecnológicos de la cuarta revolución, pero sin dejar de lado la sustentabilidad empresarial, poniendo foco en el ser humano y en la ecología. La Sociedad 5.0, la agenda de la ODS 2030 (Objetivos de Desarrollo Sostenible), los movimientos sociales y medioambientales han dado lugar a nuevos desafíos a aceptar por la sociedad, los gobiernos y las empresas, y compatibilizar con los nuevos requerimientos sociales, productivos, de respuesta al cliente, logísticos y de cuidado medioambiental.

Este estudio se centra en el hallazgo de los factores conducentes para las organizaciones a sumarse a la ola de la quinta revolución industrial. Serán estudiados los factores tecnológicos, socioambientales y culturales, y se excluyen del presente trabajo los ejes políticos, económicos, legales y fiscales.

La evolución de la industria a través del tiempo

La Primera Revolución industrial comenzó en la segunda mitad del siglo XVIII en Inglaterra, con la máquina de vapor, generando cambios radicales en la historia de la humanidad. La Segunda Revolución Industrial se da en el marco del siglo XIX, el llamado “siglo de los inventos”. La electricidad se convierte en la nueva fuente de energía, y por primera vez, se introduce el término de “globalización”. En los años '70 se inicia la denominada Tercera Revolución Industrial, marcada por la aparición de la informática y la automatización precaria de las industrias.

En el año 2011, se cita por primera vez en Alemania, el concepto de Industria 4.0. Es un término que fue utilizado por primera vez por el Gobierno alemán y que describe una organización de los procesos de producción basada en la tecnología y en dispositivos que se comunican entre ellos de forma autónoma a lo largo de la cadena de valor (Smit *et. al.*, 2016).

La diferencia entre la 4ta. y la 5ta. Revolución Industrial radica en el lugar que ocupa el trabajador. Golovianko *et al.* (2023) sostiene que el Operador 4.0 fue introducido como una perspectiva centrada en el ser humano de la cuarta revolución industrial y una especie de simbiosis hombre-automatización en la 5ta.

Industria 5.0 y ODS: Agenda 2030

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por Naciones Unidas en 2015, es el acuerdo global más ambicioso en materia de desarrollo de los países que conforman dicho organismo y que asumieron dicho desafío para el año 2030. El acuerdo Agenda 2030 cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas asociadas, promoviendo el accionar en tres dimensiones diferentes: la económica, la social y la ambiental. Estas líneas de acción engloban el compromiso de los Estados para erradicar el hambre y lograr la seguridad alimentaria, garantizar una vida sana y una educación de calidad, lograr la igualdad de género, asegurar el acceso al agua y la energía sustentable, promover el crecimiento económico sostenido, adoptar medidas urgentes contra el cambio climático; promover la paz, facilitar el acceso a la justicia y fortalecer una alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Breque *et al.* (2021), describe a la Industria 5.0 como la combinación clave de tres elementos: centralización en el humano, sustentabilidad y resiliencia. ODS e Industria

5.0 persiguen un objetivo común: crecimiento, innovación e industrialización inclusiva. Es una visión que va más allá de productividad, rendimiento e índices económicos, complementando a Industria 4.0 para alinearse con la Agenda 2030: beneficio de la sociedad, huella ambiental y objetivos éticos.

Industria 5.0 y Sociedad 5.0

Mucho se habla acerca de la Industria 5.0, pero un concepto previo a la introducción de tal revolución industrial, es el de Sociedad 5.0. Se debe considerar, que, para que pueda existir una revolución industrial, debe darse antes una revolución social. Ortega (2019, pág. 6) reconoce a la Sociedad 5.0 de la siguiente forma: “Una sociedad centrada en lo humano que equilibra el progreso económico con la resolución de problemas sociales mediante un sistema que integra de forma avanzada el ciberespacio y el espacio físico”.

La Industria 4.0, sumada a la importancia internacional del acuerdo Agenda 2030 y a la nueva sociedad 5.0, dan lugar a la nueva revolución industrial, la 5.0, que trae aparejada una serie de cambios en cuanto a lo tecnológico, sociocultural y medioambiental. La Sociedad 5.0 intenta equilibrar el desarrollo económico con la resolución de problemas sociales y de conservación del planeta. Es decir, los conceptos de Sociedad 5.0 e Industria 5.0 están relacionados en que ambos se refieren a un cambio fundamental de nuestra sociedad hacia un nuevo paradigma, compartiendo retos sociales, éticos y medioambientales.

El proceso de revisión

“Se utiliza una revisión sistemática de la literatura (RSL) para identificar y evaluar el estado del arte de un tema específico. Proporciona una especie de “resumen” del estado del arte en un área temática específica.” (Cioffi et al. 2020, pág. 2).

Para esto, resulta indispensable formular la pregunta clave acerca de la temática a investigar. El objetivo principal de la investigación es responder a la pregunta: ¿Cuáles son los factores, metodologías, prácticas o valores identificados en las publicaciones del campo disciplinar que debería poseer una organización empresarial para acercarse al concepto Industria 5.0?

Se ha definido como tecnología o factor, clave o habilitante (*key/enabling technology/factor*) a "tecnologías, equipos y/o metodologías que, solos o asociados, proporcionan los medios para generar un cambio radical" (*Business Dictionary*, en línea). Esta es la definición adoptada para esta revisión, enfocada específicamente en Industria 5.0.

En la primera etapa del estudio se recurrió al análisis documental con el objetivo de integrar, organizar y evaluar la información teórica y empírica existente sobre el tema, recabando publicaciones académico-científicas en las plataformas de bases de datos de Google *Academics* y *Science Direct*.

En un segundo paso, se han identificado artículos publicados que aborden los temas de Industria 4.0 y de Industria 5.0 como términos clave o que aquellas palabras estuviesen en el título, resumen o en las palabras clave. El rango de tiempo utilizado en la búsqueda fue desde el año 2018 en adelante.

Las Tablas 1 y 2 muestran los resultados de búsqueda de cada base de datos de manera individual, adicionando también el término de “*enabling technologies*” (tecnologías habilitadoras en inglés) en el caso de la búsqueda en *Science Direct*. En el caso de *Google Academics*, al ingresar el término de “*enabling technologies*” en conjunto con el de “industria 4.0”, o “industria 5.0”, los resultados eran nulos.

Tabla 1. Resultados de búsqueda en Science Direct

Database	Fórmula de búsqueda	Documentos totales	Año de publicación	Publicaciones por año
Science Direct	Término de búsqueda: "Industry 4.0" Título, resumen o palabras clave: "industry 4.0"+"enabling technologies"	298	2024	38
			2023	63
			2022	62
			2021	50
			2020	37
			2019	30
			2018	18
Science Direct	Término de búsqueda: "Industry 5.0" Título, resumen o palabras clave: "industry5.0"+"enablingtechnologies"	40	2024	14
			2023	18
			2022	7
			2021	1
			2020	0
			2019	0
			2018	0

Tabla 2. Resultados de la búsqueda en Google Academics

Database	Término de búsqueda	Documentos totales	Año de publicación	Publicaciones por año
Google Academics	En el título: "industry 4.0"	22910	2018	2840
			2019	3630
			2020	3950
			2021	3920
			2022	3850
			2023	3570
			mayo 2024	1150
Google Academics	En el título: "industry 5.0"	1962	2018	58
			2019	71
			2020	89
			2021	213
			2022	394
			2023	734
			mayo 2024	403

La Tabla 2 representa la búsqueda en Google *Academics*, donde los filtros son menos extensivos. En este caso, la fórmula de búsqueda implicó que las palabras “*Industry 4.0*” e “*Industry 5.0*” estuviesen en el título del documento, con todas sus palabras.

La cantidad de artículos encontrados ascendieron a 25210 en la segunda etapa. Como el interés del trabajo se enfoca en Industria 5.0 se desestimaron aquellas que abordaban solo “*Industry 4.0*”.

En una tercera etapa, se procedió a identificar aquellas publicaciones con más relevancia, las más citadas y aquellas que son revisiones sistémicas a su vez. El objetivo es encontrar, según estudios desarrollados anteriormente, cuáles son los factores que inciden en la implementación de Industria 5.0, motivo por el cual, se procedió a analizar aquellas publicaciones que enumeren cuales son los factores, tecnologías o metodologías más relevantes para dar lugar a la nueva ola de revolución industrial. De esta tercera etapa, se seleccionaron 321 artículos, la gran mayoría escritos en idioma inglés y que combinan los términos de industria 4.0 o industria 5.0 con factores específicos, como ser robots colaborativos, simulación, *big data* o sustentabilidad. Entre estas publicaciones, se han hallado algunas que nombran a la Industria 6.0 como concepto futurista y que aportan una mirada rica en la Industria 5.0 también, por lo cual, han sido tomadas en cuenta para el presente análisis también.

La cuarta etapa tomó en consideración la cantidad de citas de los factores en la literatura específica del campo disciplinar.

La quinta etapa contempla la categorización en tres ejes de los factores que definen la implementación de Industria 5.0 según los autores de las publicaciones seleccionadas. Durante la sexta etapa, finalmente se exploró cada uno de estos factores para identificar sus características principales.

Resultados y Análisis de datos

El objetivo de esta sección es resumir los principales hallazgos de la revisión sistemática realizada e interpretar los resultados. A continuación, en la Tabla 3 se muestra el detalle de los 17 artículos que fueron seleccionados para el análisis de los factores, ya que cumplían con los criterios de búsqueda.

Finalizada la obtención de las publicaciones más importantes, se procede a la obtención de los factores habilitantes para la implementación de Industria 5.0.

En la Tabla 4 se muestra el resultado de los 24 factores encontrados. En las columnas se puede observar cada una de las 17 publicaciones y qué factores aportan cada una de ellas. En la última columna, se puede visualizar el conteo de los factores más nombrados por los autores contemporáneos.

Tabla 3. Listado de publicaciones seleccionadas

Nro Publicación	Título de la publicación	Autor/Autores: algunos tienen nombre completo y otros, solo iniciales	Año de publicación	Palabras clave
1	Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges	S. Chourasia, A. Tyagi, S. M. Pandey, R. S. Wallia, Q. Murtaza	2022	Industry 6.0, Digital manufacturing, Internet of thing, Big data, Robots
2	Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception.	Xun Xu, Yujian Lu, Brigit Vogel-Heuser, Lihui Wang	2021	Industrial Revolution, Industry 4.0, Industry 5.0, Technology-driven, Value-driven
3	Industria 4.0. Fabricando el futuro.	A. J. Basco, G. Beliz, D. Coatz, P. Garnero	2018	Cadenas globales de valor, empleo, industria, innovación, integración y comercio, nuevas tecnologías.
4	Enabling technologies for Industry 5.0.	J. Müller	2020	Extráidas del prólogo: industria 5.0, tecnologías habilitadoras, Europa, organizaciones
5	Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas	Arr Adel	2022	Industry 5.0, Human machine collaboration, Supply chain, Disaster recovery, Smart healthcare, Cognitive systems, Green manufacturing
6	Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications	Praveen Kumar Reddy Maddikunta, Quoc-Viet Pham, Prabadevi B, N Deepa, Kapil Dev, Trippa Reddy Gadikalili, Rukhsana Ruby, Madhusanka Liyanage	2021	Industry 5.0, Internet of Things, 6G, Edge Computing, Enabling Technologies, Pervasive AI
7	Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective	Chunguang Bai, Patrick Dallaesga, Guido Orzes, Joseph Sarkis	2020	Industry 4.0 Technology, Sustainability, Hesitant fuzzy set, Cumulative prospect theory, VIKOR
8	Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis.	Eleonora Barbara Bigliardi, Giorgia Casella Bottani	2020	Industry 4.0, bibliographic analysis, enabling technologies, application areas
9	Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0.	Erick L. Alvarez-Aros, César A. Bernal-Torres	2021	bibliometric analysis, emerging economies, industry 4.0, industry 5.0, systematic review of the literature, technological competitiveness
10	Industry 5.0 – Characteristic, main principles, advantages and disadvantages	Radoslaw Wolniak	2023	Industry 4.0; innovation, industrial enterprise, design thinking, innovativeness
11	Actions and approaches for enabling Industry 5.0-driven sustainable industrial transformation: A strategy roadmap	Morteza Ghobakhloo, Mohammad Jaramanesh, Manuel E. Morales, Mehrokhsh Nilashi, Azlan Arman	2022	digital technology, environmental sustainability, human-centrity, Industry 5.0, resilience, sustainable industrial transformation
12	Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies	Abiram Raja Santhi, Padmakumar Muthuswamy	2023	Industrial revolution, Sustainability, Artificial Intelligence, Internet of things, Collaborative robots, Digital twins, Edge computing, Block chain, Cyber-Physical Systems
13	Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?	Nicooár Jéffroy, Mathew Azarian, Hao Yu	2022	Industry 5.0, Industry 4.0, smart logistics, sustainable logistics, bibliometric analysis, literature review
14	Behind the definition of Industry 5.0: a systematic review of technologies, principles, components, and values	Morteza Ghobakhloo, Mohammad Jaramanesh, Ming-Lang Tseng, Andrius Gryboskus, Alessandro Stefanini, Azlan Arman	2023	Digitalization, Industry 5.0, Industry 4.0 technologies, Digital society, Human centric, Artificial intelligence
15	The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centrity perspectives	Dmitry Ivanov	2023	Industry 4.0, supply chain resilience, industry 5.0, viable supply chain, reconfigurable supply chain, digital supply chain
16	State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends	Aditya Akundi, Daniel Euresi, Sergio Lura, Wilma Ankobiah, Arrit Lopes, Immanuel Edirabarough	2022	Industry 5.0, artificial intelligence, smart manufacturing, big data, internet of things, human-machine coexistence
17	Industry Revolutions Development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in Manufacturing	Nazanin Pilevaria, Farzad Yavari	2020	Industry 4.0, Industry 5.0, Industry 6.0, Internet of Things, Artificial Intelligent, Industrial Revolutions

Tabla 4. Tabla de los factores encontrados, descriptos según cada una de las 17 publicaciones

Nro. de Facto _r	Factores identificados relacionados con I4.0 e I5.0	Nro. Referencia De Publicación																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Menciones por Factor		
1	Impresión 4D	x						x									x			x	6
2	Inteligencia Artificial	x	x									x									12
3	Robots Colaborativos	x																			14
4	Edge Computing	x																			5
5	Cloud Computing	x																			11
6	IoT / IoE	x																			11
7	Realidad Virtual y Aumentada	x																			12
8	Sensores inteligentes	x																			8
9	Ciberseguridad	x																			7
10	Gemelos Digitales y Sistemas Ciberfísicos / Simulación	x	x																		13
11	Big Data/Smart Data	x																			13
12	Logística Inteligente/Logística	x																			2
13	Foco en el ser humano	x	x																		8
14	Materiales inteligentes/Biomateriales																				6
15	Eficiencia energética	x																			6
16	Tecnología Blockchain																				6
17	Ecoinnovacion /Innovación	x																			5
18	Sustentabilidad empresarial	x																			7
19	Responsabilidad Social Empresarial																				2
20	Liderazgo Transformacional, Ágil y Adaptativo/ Competencias de Transformación Digital	x																			3
21	Manufactura Esbelta																				2
22	6G/5G																				3
23	Machine Learning																				5
24	Resiliencia																				2
	Factores identificados por publicacion	17	5	8	10	8	10	10	11	4	4	15	15	3	12	14	14	14	14	14	2

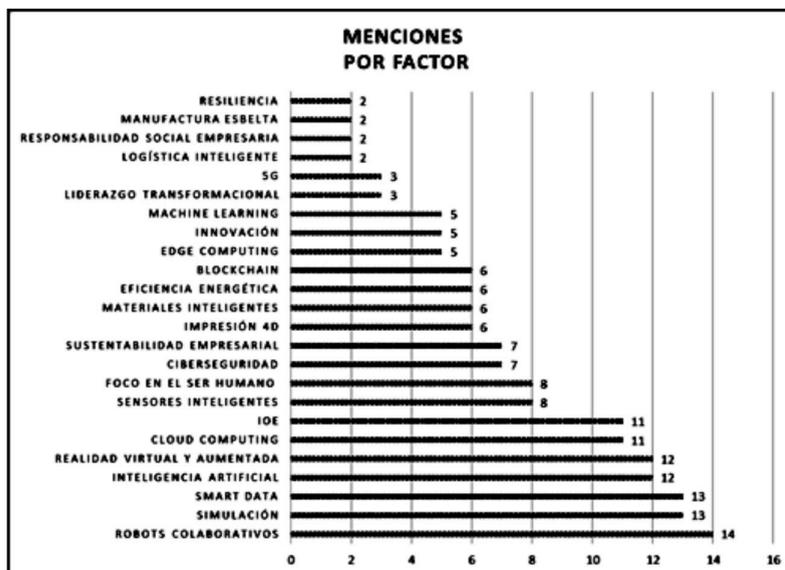


Fig. 2. Factores hallados y renombrados, ordenados del mayor al menor

Como se puede observar en la Tabla 4, algunos autores usan denominaciones distintas que otros sobre algunas terminologías. En la Tabla 5 se muestra la unificación de conceptos, renombrando a los factores que resulten necesarios (aquellos que tienen doble o triple nombre). Es relevante recalcar que la continuación de este trabajo de investigación se enfocará en Argentina por lo que se ha adoptado el nombre que más se ajusta a la realidad del entorno local. La Figura 2 ordena a los factores hallados desde el que mayor cantidad de menciones tiene según las publicaciones, hasta el menor, contemplando la denominación final de cada uno de los factores.

Tabla 5. Tabla de clasificación de cada factor según su eje temático

Factor	Eje
Robots Colaborativos	Tecnológico
Simulación	Tecnológico
Smart Data	Tecnológico
Inteligencia Artificial	Tecnológico
Realidad Virtual y Aumentada	Tecnológico
Cloud Computing	Tecnológico
IoE	Tecnológico
Sensores inteligentes	Tecnológico
Foco en el ser humano	Sociocultural
Ciberseguridad	Tecnológico
Sustentabilidad empresarial	Sociocultural
Impresión 4D	Tecnológico
Materiales Inteligentes	Tecnológico
Eficiencia energética	Medioambiental
Blockchain	Tecnológico
Edge Computing	Tecnológico
Innovación	Sociocultural
Machine Learning	Tecnológico
Liderazgo Transformacional	Sociocultural
5G	Tecnológico
Logística Verde	Medioambiental
Responsabilidad Social Empresarial	Sociocultural
Manufactura Esbelta	Tecnológico
Resiliencia	Sociocultural

La etapa 5 contempla la estructuración de los 24 factores encontrados en ejes temáticos: tecnológico, medioambiental y sociocultural. Se denominará Factor Tecnológico a todo aquel que tenga relación con tecnologías duras o blandas, o estén relacionados con conceptos productivos o asociados a maquinarias. Por otro lado, los factores que sean Medioambientales serán aquellos que guarden relación con el cuidado del medioambiente y la optimización energética, mientras que los Factores Socioculturales serán los relacionados con las cualidades humanas, prácticas empresariales y la innovación.

La Tabla 5 detalla cada factor renombrado, junto con su correspondiente eje temático.

Finalmente, la etapa 6 de la investigación propone resumir los conceptos hallados como factores.

Características de los factores correspondientes al Eje Tecnológico

Robots colaborativos

Los robots colaborativos o “cobots” han sido definidos como objetos electrónicos diseñados para interactuar físicamente con humanos en un ambiente compartido. Se diferencian de los robots tradicionales principalmente en que no están aislados realizando una tarea en particular, sino más bien, cooperando e interactuando con los humanos.

Simulación

Cimino *et al.* (2022) menciona que gracias a la simulación existe la posibilidad de recrear el comportamiento de un sistema real, pudiendo llevar a cabo un análisis hipotético para investigar mejor el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios operativos. En las industrias pueden ser representaciones virtuales de diferentes sistemas, simulando maquinarias, líneas de producción, productos, o cualquier otra operación o servicio relacionado con el proceso de fabricación.

Smart Data

En el año 2019 se ha introducido el concepto de *Smart Data* inducido por García-Gil (2019) quien define a los datos inteligentes como “altos datos de calidad, limpios y valiosos”. A diferencia del *Big Data*, que se centra en la recolección y almacenamiento de datos masivos, *Smart Data* prioriza la calidad y la utilidad de los datos para tomar decisiones informadas.

Inteligencia Artificial

Rosales (2022, en línea) reconoce a la inteligencia artificial (IA) como el conjunto de sistemas o combinación de algoritmos, que tiene como propósito principal crear máquinas que imitan la inteligencia humana para llevar a cabo diversas y complejas tareas, que pueden mejorar de acuerdo a la información que recopilan, y que, adaptada al negocio de una organización, tiene un efecto de mejora en los procesos del negocio.

Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV)

La tecnología de Realidad Aumentada (RA) proporciona una percepción mejorada de los objetos del mundo real, al incluir información adicional sobre la vista real del usuario. “En general, un sistema de RA proyecta aumentos generados por computadora sobre objetos reales, combinando objetos reales y virtuales para funcionar sincrónicamente” (Yuchán Siriwardhana *et al.*, 2021, pág. 1160). Según este autor: se debe combinar objetos reales y virtuales en un entorno real; debe ejecutarse de forma interactiva y en tiempo real y debe registrar objetos reales y virtuales entre sí.

Cloud Computing

“Enfoque de la informática en el que los usuarios se conectan a una red remota para realizar tareas computacionales. Esto permite que alguien que utilice una máquina personal o de escritorio acceda a grandes cantidades de almacenamiento de datos y potencia

informática, en cualquier parte del mundo” (*Oxford Reference*, en línea). Las soluciones “de nube” pueden integrarse con sistemas robóticos para mejorar la automatización en las fábricas inteligentes, lo cual permite una colaboración eficiente entre equipos distribuidos geográficamente.

IoE (Internet of Everything)

El Internet de las Cosas (IoT) representa la idea de que los objetos físicos cotidianos están relacionados de alguna manera con Internet y pueden conectarse a otros dispositivos a través de la tecnología. En cambio, Internet de Todo (IoE) conecta productos de consumo y dispositivos a Internet. Entonces, el procesamiento de datos ya no se limita a una computadora portátil o de escritorio, sino que las máquinas, los productos y materiales ya son inteligentes y están conectados entre sí.

Sensores Inteligentes

Ha *et al.* (2019) menciona que la función fundamental de cualquier sensor es detectar y proporcionar información precisa de su objetivo de detección. Tahera Kalsoom (2020) describe a los sensores inteligentes con las siguientes características: de bajo costo, físicamente pequeños, inalámbricos, autoidentificados, de bajo consumo energético, autodiagnosticados, autocalibrados y con pre-procesamiento de datos.

Ciberseguridad

En el Foro Internacional de la Ciberseguridad 2022 (*Stormshield*, en línea) se destaca la importancia de la ciberseguridad debido a que la fábrica conectada tiene una superficie de ataque muy amplia y, por lo tanto, problemas de seguridad igualmente ampliados. Las características de la Industria 5.0 como ser la combinación de un número creciente de máquinas robotizadas, una interconexión cada vez mayor, la integración de *IoT*, una dosis de realidad aumentada y nuevas interfaces hombre-máquina, significa que el número de posibles fallos de seguridad en los sistemas va en aumento

Impresión 4D

Mientras que la tecnología de impresión 3D convencional, propia de Industria 4.0, se utiliza para fabricar estructuras estáticas que no pueden satisfacer las necesidades de estructuras dinámicas, la “impresión 4D” llegó para revolucionar la tecnología, gracias a la flexibilidad de las estructuras producidas (Quanjin *et al.*, 2020) agregando la cuarta coordenada de tiempo a la impresión 3D dándole a la estructura impresa la capacidad de cambiar su forma o función con el tiempo bajo estímulos externos, como la temperatura, los rayos ultravioleta (UV), la presión o la energía magnética.

Materiales Inteligentes

Aamir Ahmed (2021) denomina materiales inteligentes a los que tienen la capacidad de cambiar sus propiedades a lo largo del tiempo. Estos materiales pueden responder a los cambios externos y poseer comportamientos como el autoensamblaje, la autocuración, la memoria de forma y la autocapacidad.

Blockchain

La idea básica de la tecnología *Blockchain* es permitir a los actores en un sistema (nodos), realizar transacciones digitales utilizando una red que almacena estas transacciones de forma distribuida (S. Ølnes *et al.*, 2017). Es así que, en sectores como manufactura, logística y comercio, *Blockchain* puede aportar a la gestión de la cadena de suministro y la trazabilidad de bienes, ya que permite verificar la autenticidad de los productos.

Edge Computing

Con *Cloud Edge Computing* es posible acercar el poder de procesamiento lo más cerca posible de donde los datos están siendo generados. Eso permite mover capacidades que antes estaban “lejos”, en un servidor en la nube, muchísimo más cerca de los dispositivos (Rebato, en línea, 2022).

Machine Learning

Machine Learning es la rama de la inteligencia artificial que se ocupa de la construcción de programas que aprenden de la experiencia. El aprendizaje puede adoptar muchas formas, desde el aprendizaje a partir de ejemplos y el aprendizaje por analogía hasta el aprendizaje autónomo de conceptos y el aprendizaje por descubrimiento.

5G

Lessi *et al.* (2024) afirma que la tecnología 5G y sus versiones futuras son ampliamente reconocidos como facilitadores críticos para las comunicaciones industriales, todavía está en sus primeras etapas de desarrollo, alineándose con los principios de la Industria 5.0.

Manufactura Esbelta

Los objetivos centrales de la Manufactura Esbelta, o bien conocido como *Lean Manufacturing*, son eliminar cualquier actividad que represente desperdicio, asegurar una operación fluida para lograr tiempos mínimos de configuración y eliminar el tiempo de inactividad debido a roturas y defectos, además de la nivelación de stocks y cantidades de producción (Moraes, 2023).

Características de los factores correspondientes al Eje Medioambiental

Los dos factores identificados del eje medioambiental son los siguientes:

Logística Inteligente

La logística inteligente, también conocida como logística sostenible o logística verde, es un enfoque de gestión logística que busca minimizar el impacto ambiental de las operaciones de transporte, almacenamiento y distribución de mercancías, reduciendo la huella ecológica y promoviendo prácticas sostenibles en toda la cadena de suministro, por ejemplo, mediante la eficiencia energética.

Eficiencia Energética

B. Masoomi *et al.* (2023) sostiene que, mediante la utilización de sensores inteligentes, dispositivos conectados y análisis de datos avanzados, la Industria 5.0 permite monitorear y controlar el consumo de energía en tiempo real, minimizando el desperdicio y mejorando la eficiencia energética. Esta reducción del consumo de recursos contribuye a la sostenibilidad medioambiental.

Características de los factores correspondientes al Eje Sociocultural

Los factores que integran el eje sociocultural son seis, descriptos a continuación.

Foco en el ser humano

El cambio a una estrategia centrada en el ser humano, donde las necesidades humanas y los intereses se sitúan en el centro de los procesos de producción evoluciona cada vez más. La industria centrada en el bienestar de los trabajadores debe contar con entornos de trabajo seguros e inclusivos que se centren en la salud física y mental, el bienestar, la autonomía, la privacidad y la dignidad de los trabajadores.

“La capacitación continua de personal permite a los empleados planear, mejorar y realizar de manera más eficiente sus actividades, en colaboración con los demás integrantes de la organización; por lo tanto, es relevante constituir un equipo de trabajo de alto rendimiento y realizar una labor profesional con los mejores estándares de calidad.” (Adecco, 2020, en línea).

Innovación

Aslam *et al.* (2020) menciona en su estudio que el marco absoluto de gestión de la innovación involucra a todos los miembros de una organización en el proceso de innovación,

lo que no sólo hace que este proceso sea rápido, sino que también crea un sentido de responsabilidad entre los empleados de todos los niveles. Esto proporciona un marco a través del cual se pueden sinergizar la innovación, el pensamiento de diseño y la estrategia corporativa para obtener el máximo beneficio.

Además, en lugar de gestionar la innovación como una actividad independiente, la gestión absoluta de la innovación ha hecho que la misma forme parte de las actividades organizativas rutinarias, lo que hace que la capacidad de implementación de la innovación sea fluida.

Sustentabilidad Empresaria

Para que una industria se convierta en proveedora de verdadera prosperidad, debe incluir aspectos sociales, medioambientales y sociales. La simbiosis de los tres segmentos: tecnológico, social y ecológico constituyen la esencia de la Industria 5.0. (Grabowska *et al.*, 2021)

Es por ello que un cambio de paradigma en la gestión empresarial para la adopción sería de prácticas circulares para la sostenibilidad es clave para los propósitos y principios definidos en la Industria 5.0. De esta manera, es necesario que las organizaciones puedan por ejemplo, evitar diseñar productos no reciclables o tener la posibilidad de recuperar los residuos como materia prima en el ciclo de producción.

Responsabilidad Social Empresaria (RSE)

“La Responsabilidad Social Empresaria (RSE) abarca a todas las acciones sociales que implementan las empresas y que no solamente mejoran la calidad de vida de los trabajadores y de la sociedad en general, sino que también son consideradas como un componente fundamental en el desarrollo de estrategias empresariales” (Maldonado Guzmán, 2020, pág. 190).

Cardona (2016, en línea, citado en Medina *et al.*, 2022), afirma que la organización debe convertirse en institución de interés social, que trascienda los aspectos económicos, adentrándose en la vida e intereses de las comunidades.

Liderazgo y Transformación Digital

La transformación digital se refiere a una mentalidad digital, la cual está habilitada principalmente por un liderazgo basado en tres pilares: trabajo en equipo, cultura de puesta en marcha y gestión matricial (Fernando Salvetti y Barbara Bertagni, 2020).

La Industria 5.0 requiere de un estilo de liderazgo que sea adaptable, colaborativo y orientado hacia el futuro, dada la naturaleza disruptiva de la revolución y de los cambios tecnológicos y organizativos que implica.

Resiliencia

Xiaoyu Qi y Gang Mei (2024, pág. 10) describen que, en ingeniería, “la resiliencia se define como la capacidad de la sociedad humana o infraestructura para resistir y recuperarse de factores externos.”

En el contexto de la Industria 5.0, el término "resiliencia" se refiere a la capacidad de las industrias para adaptarse y recuperarse de interrupciones y desafíos, manteniendo la continuidad operativa y la competitividad. Esto incluye la capacidad para hacer frente a crisis económicas, desastres naturales, fallos tecnológicos y otros eventos disruptivos, asegurando al mismo tiempo la sostenibilidad y la innovación (Xu, Xu, y Li, 2018).

En este contexto, la resiliencia se traduce en sistemas de producción que puedan resistir, adaptarse y evolucionar frente a adversidades, asegurando la sostenibilidad y el bienestar tanto de los trabajadores como del entorno (Kovács y Spens, 2009).

Conclusiones

Se han podido identificar 24 factores determinantes para la implementación de Industria 5.0, pudiéndose observar tres aspectos temáticos diferentes a lo largo del camino: el tecnológico, el medioambiental y el sociocultural. El análisis de los trabajos encontrados ha permitido identificar los factores tecnológicos, socio ambientales y culturales más relevantes que una organización debe poseer o al menos, implementar en un nivel mínimo para poder encaminarse en un futuro próximo a la Revolución 5.0. La implementación exitosa de la Industria 5.0 en una organización requiere la consideración y gestión efectiva de una variedad de factores tecnológicos, sociales, ambientales y culturales. Estos factores están interconectados y pueden influirse mutuamente, lo que hace que su abordaje sea esencial para lograr una transformación integral y sostenible.

Desde el punto de vista tecnológico, una organización debe evaluar cuidadosamente las tecnologías emergentes y determinar cuáles son más relevantes para su industria y procesos. La adopción de tecnologías como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas y la automatización debe estar respaldada por una estrategia clara y una infraestructura tecnológica sólida.

Los factores medioambientales, juegan un papel significativo en la implementación. La organización debe evaluar cómo las nuevas tecnologías pueden reducir el impacto ambiental, optimizar el uso de recursos y cumplir con las normativas ambientales.

Desde la perspectiva sociocultural, la capacitación continua, el reentrenamiento de los empleados y el liderazgo en cuanto a la gestión del cambio continuo son esenciales para mantener la armonía y el compromiso en toda la organización, así como también la mentalidad y la actitud de la organización hacia la innovación, el cambio y la colaboración. Una cultura que fomente la comunicación abierta, la adaptabilidad y la toma de riesgos controlados será más propensa a abrazar la transformación de la Industria 5.0. Una organización exitosa en la implementación de la Industria 5.0 será aquella que logre un equilibrio entre estos factores hallados.

El desarrollo futuro de la presente investigación pretende analizar sistemáticamente la evolución del interés académico sobre estos temas en el ámbito argentino. A partir del enfoque metodológico esbozado y estructurado en este primer artículo, el objetivo será comparar los resultados de esta revisión haciendo partícipes a expertos en el área disciplinar, de modo que ellos puedan ponderar estos factores mediante el análisis estructural Mic Mac, una herramienta de reflexión colectiva donde interactúan todas las variables (factores) y sus relación de impacto y dependencia, para conocer la importancia y las interrelaciones de cada uno de ellos en el contexto local.

Referencias

- AAMIR AHMED, S. A., (2021). 4D Printing: Fundamentals, materials, applications and challenges. Jammu, India. ELSEVIER.
- Adecco (2020). La importancia de la capacitación del personal. (en línea) En <https://blog.adecco.com.mx/2020/02/14/importancia-capacitacion-de-personal/>
- ADEL, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing* (2022), 11:40. Springer.
- AKUNDI, A.; EURESTI, D.; LUNA, S.; ANKOBIAH, W.; LOPES, A. y EDINBAROUGH, I., (2022). State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends. MDPI.
- ALVAREZ-AROS, E. y BERNAL-TORRES, C., (2021). Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0. *Anais da Academia Brasileira de Ciências. Annals of the Brazilian Academy of Sciences Printed ISSN 0001-3765 | Online ISSN 1678-2690.*
- ASLAM, F.; AIMIN, W.; LI, M. y UR REHMAN, K., (2020). Innovation in the Era of IoT and Industry 5.0: Absolute Innovation Management (AIM) Framework. *Information*. <https://doi.org/10.3390/info11020124>
- BAI, C.; DALLASEGA, P.; ORZES, G. y SARKIS, J., (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *Int. J. Production Economics* 229 (2020) 107776. Chengdu, PR, China.
- BASCO, I.; BELIZ, G.; COATZ, D. y GARNERO, P., (2018). *Industria 4.0. Fabricando el futuro*. Ciudad de Buenos Aires: Inter-American Development Bank.
- BIGLIARDIA, B.; BOTTANIA, E. y CASELLAA, G., (2020). Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis. *International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019)*. *Procedia Manufacturing* 42 (2020) pp. 322–326. Department of Engineering and Architecture, University of Parma, Italy. ELSEVIER.
- BOUBAKER, K. B., (2023). *Industria 5.0: ¿dónde encaja la ciberseguridad?* (en línea). <https://www.stormshield.com/es/noticias/industria-5-0-donde-encaja-la-ciberseguridad/>
- BREQUE, M.; DE NUL, L. y PETRIDIS, A., (2021). Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Luxemburgo.
- CARDONA, D., (2016). “La responsabilidad social empresarial: concepto, evolución y tendencias”.(en línea)En: <https://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2016/1sin/25.pdf>
- CHOURASIA, S.; TYAGI, A.; PANDEY, S. M.; WALIA, R. S. y MURTAZA, Q., (2022). Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India* (June 2022) 37(2), pp. 443–452. Haryana, India. Metrology Society of India 2022
- CIMINO, M.G.; GNONI, F.; LONGO, A. y LA ROSA, A., (2022). Digital Twin (DT) based methodology to support effective design of industrial production lines. *4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing* (pp. 1896–1907). Lecce, Italia. ELSEVIER.
- CIOFFI, R.; TRAVAGLIONI, M.; PISCITELLI, G.; PETRILL, A. y PARMENTOLA, A., (2020). *Smart Manufacturing Systems and Applied Industrial Technologies for a Sustainable Industry: A Systematic Literature Review*. MDPI.
- GARCÍA-GIL, D.; LUENGO, J.; GARCÍA, S. y HERRERA, F., (2019). Enabling smart data: noise filtering in big data classification. *Information Sciences*, 479, pp. 135–152.
- GHOBAKHLOO, M.; IRANMANESH, M.; MORALES, M. E.; NILASHI, M. y AMRAN, A., (2022). Actions and approaches for enabling Industry 5.0-driven sustainable industrial transformation: A strategy roadmap. School of Economics and Business, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania. WILEY.

- GHOBAKHLOO, M.; IRANMANESH, M.; TSENG, M.; GRYBAUSKAS, A.; STEFANINI, A. y AMRAN, A., (2023). Behind the definition of Industry 5.0: a systematic review of technologies, principles, components, and values, *Journal of Industrial and Production Engineering*, DOI: 10.1080/21681015.2023.2216701
- GOLOVIANKO, M. *et al.*, (2023). Industry 4.0 vs. Industry 5.0 : Co-existence, Transition, or a Hybrid. In F. Longo *et al.* (Eds.), 4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, pp. 102-113. *Procedia Computer Science*, 217.ELSEVIER.
- GRABOWSKA, S.; SANIUK, S. y GAJDZIK, B., (2022). Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. *Scientometrics* 127, pp. 3117–3144. SPRINGER.
- GUZMÁN, M.; PINZÓN CASTRO, S. Y. y ALVARADO CARRILLO, A., (2020). Responsabilidad Social Empresarial, Eco-innovación y Rendimiento Sustentable en la Industria Automotriz de México. *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 25, num. 89.
- HA, N.; XU, K.; REN, G.; MITCHELL, A. y OU, J., (2020). *Machine Learning-Enabled Smart Sensor Systems*. Melbourne, Australia. WILEY.
- IVANOV, D., (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives, *International Journal of Production Research*, 61:5, 1683-1695, DOI: 10.1080/00207543.2022.2118892
- JEFROY, N.; AZARIAN, M. y YU, H., (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics? The Arctic University of Norway, Norway. MDPI.
- KOVÁCS, G. y SPENS, K. M., (2009). Humanitarian logistics performance in the light of gender. *International Journal of Production Economics*, 126(2), pp. 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.08.006>
- LESSI, C.; GAVRIELIDES, A.; SOLINA, V.; QIU, R.; NICOLETTI, L. y LI, D., (2024). 5G and Beyond 5G Technologies Enabling Industry 5.0: Network Applications for Robotics. *Procedia Computer Science*. Volume 232, pp. 675-687. ELSEVIER.
- MASOOMI, B.; GHASEMIAN SAHEBI, I.; GHOBAXHLOO, M. y MOSAYEBI, A., (2023). Do industry 5.0 advantages address the sustainable development challenges of the renewable energy supply chain? *Sustainable Production and Consumption*, Volume 43, (pp. 94-112) ISSN 2352-5509. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.018>
- MEDINA, R.; NICOLE, C., SANCHEZ SEGURA, S.M. (2022) “Responsabilidad Social Empresarial y desarrollo sostenible: reflexiones desde la ética aplicada”, Universidad Privada del Norte.
- MORAES, A.; CARVALHO, A. M. Y SAMPAIO, P., (2023). Lean and Industry 4.0: A Review of the Relationship, Its Limitations, and the Path Ahead with Industry 5.0. *Machines* 2023, 11, 443. <https://doi.org/10.3390/machines11040443>
- MÜLLER, J., (2020). Enabling technologies for Industry 5.0. European Commission.
- ORTEGA, A., (2019). *Sociedad 5.0: el concepto japonés para una sociedad superinteligente*. Real Instituto Elcano. Oxford Reference (online). Oxford University Press <https://www.oxfordreference.com>
- ØLNES, S.; UBACHT, J. y JANSSEN, M., (2017). Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *GovernmentInformationQuarterly*, 34(3), pp. 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.09.007>.
- PRAVEEN KUMAR REDDY MADDIKUNTA; QUOC-VIET PHAM; PRABADEVI, B.; DEEPA, N.; KAPAL DEV; THIPPA REDDY GADEKALLU; RUKHSANA RUBY y MADHUSANKA LIYANAGE, (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 26, 100257, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>.
- QUANJIN, M.; REJAB, M. R. M.; IDRIS, M. S.; NALLAPANENI MANOJ, K.; ABDULLAH, M. H., REDDY, GUDURU RAMAKRISHNA, (2020). Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: a comparative review and future perspective. *Malaysia*. ELSEVIER
- REBATO, C., (14 de Abril de 2022). Telefonica Tech website. (en línea). En: <https://>

- telefonicatech.com/blog/edge-computing-que-es
- ROSALES, G., (15 de septiembre 2022). Real Estate Market. (en línea). En <https://realestatemarket.com.mx/noticias/38988-conoce-todo-lo-que-ofrece-la-industria-5-0>
- SALVETTI, F. y BERTAGNI, B., (2020). Leadership 5.0: An Agile Mindset for a Digital Future», The International Conference on E-Learning in the Workplace 2020, New York.
- SANTHI, A. R. y MUTHUSWAMY, P., (2023) Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, pp. 947–979 <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>
- SIRIWARDHANA, Y.; PORAMBAGE, P.; LIYANAGE, M. y YLIANTTILA, M., (2021). A Survey on Mobile Augmented Reality with 5G Mobile Edge Computing: Architectures, Applications, and Technical Aspects. Oulu, Finland: Creative Commons Attribution 4.0.
- SMIT, J. *et al.*, (2016). Industry 4.0. Directorate General for Internal Policies. European Parliament.
- KALSOOM, T. N. R.-R., (2020). Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0. Scotland.
- WOLNIAK, R., (2023). Industry 5.0 – Characteristic, main principles, advantages and disadvantages. Silesian University of Technology Publishing House.
- XIAOYU, Q. y GANG, M., (2024). Network Resilience: Definitions, approaches, and applications. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, Volume 36, Issue 1, ISSN 1319-1578, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101882>.
- XU, L. D.; XU, E. L. y LI, L., (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. International Journal of Production Research, 56(8), pp. 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- XU, X.; LU, Y.; VOGEL-HEUSER, B. y WANG, L., (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. Journal of Manufacturing Systems, pp. 530-535.
- YAVARI, F. y PILEVARI, N., (2020). Industry revolutions development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in manufacturing. Journal of Industrial Strategic Management, 5(2), pp. 44-63.