



Métodos para la Optimización y Resolución de Problemas en la Ingeniería

En Reconocimiento al
Dr. Diego Adiel Sandoval Chávez
Decano del TecNM-IT.
Cd. Juárez, México

Coordinadores
Ericka Berenice Herrera Ríos
Lizette Alvarado Tarango
Roberto Romero López

Ana Isela García Acosta
Leonardo Alberto Alanís Castro
Jorge de la Riva Rodríguez
Adrián Francisco Loera Castro
Cynthia Márquez Márquez
Rigoberto Reyes Valenzuela
Manuel de Jesús López Pérez
Rubén Juárez Rodríguez
Javier Antonio Lom Hernández
Luz Angélica Aguilar Chávez

Arturo Paz Pérez
Humberto García Castellanos
Manuel Arnoldo Rodríguez Medina
Lizette Alvarado Tarango
Carlos Alberto Ronquillo Salas
Ulises Martínez Contreras
Adán Valles Chávez
Gabriel Gómez Martínez
Eduardo Rafael Poblano Ojinaga

MÉTODOS PARA LA OPTIMIZACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA INGENIERÍA

ISBN México (CENID): 978-607-8830-23-7

ISBN España (AEVA): 978-84-09-52251-4

Primera edición, 2023 Todos los derechos reservados.

© 2023. **Coordinadores.** Ericka Berenice Herrera Ríos, Lizette Alvarado Tarango y Roberto Romero López.

© 2023. **Autores.** Ana Isela García Acosta, Leonardo Alberto Alanís Castro, Jorge de la Riva Rodríguez, Adrián Francisco Loera Castro, Humberto García Castellanos, Cynthia Márquez Márquez, Rigoberto Reyes Valenzuela, Manuel de Jesús López Pérez, Rubén Juárez Rodríguez, Javier Antonio Lom Hernández, Arturo Paz Pérez, Luz Angelica Aguilar Chávez, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Lizette Alvarado Tarango, Carlos Alberto Ronquillo Salas, Ulises Martínez Contreras, Adán Valles Chávez, Gabriel Gómez Martínez, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga.

Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores. Esta obra cumple con el requisito de evaluación por dos pares de expertos.

Edición y diagramación: Orlanda Patricia Santillán Castillo.

Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC es miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Socio #3758.

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra mediante algún método sea electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación o almacenamiento de información), sin el consentimiento por escrito del editor.

Indexación de datos

Bases de datos en las que Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente CENID A.C. está indexada: Dialnet (Universidad de la Rioja).

© 2023 Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID AC Pompeya # 2705. Colonia Providencia C.P. 44670 Guadalajara, Jalisco. México Teléfono: 01 (33) 1061 8187 Registro Definitivo Reniecyt No.1700205 a cargo del CONAHCyT.

© 2023 Editorial de la Asociación Científica para la Evaluación y Medición de los Valores Humanos c/ de les cases sert nº 11, C.P. 08193, Bellaterra – Cerdanyola del Vallés (Barcelona).

CENID y su símbolo identificador son una marca comercial registrada.

Impreso en México / Printed in México

Si desea publicar un libro o un artículo de investigación contáctenos.

www.cenid.org

redesdeproduccioncenid@cenid.org



Índice

Prólogo	4
Reseña <i>Diego Adiel Sandoval Chávez</i>	6
Optimización de refugios y rutas de evacuación en un campus universitario, un caso de estudio para ciudades inteligentes y logística en inundaciones. <i>Adrian Loera Castro</i> <i>Humberto García Castellanos</i> <i>Cynthia Marquez Marquez</i>	8
La neuroergonomía en el factor de descanso operacional: Revisión de Literatura. <i>Ana Isela García Acosta</i> <i>Leonardo Alberto Alanís Castro</i> <i>Jorge de la Riva Rodríguez</i>	48
Análisis aerodinámico de ala morfológica con envergadura variable. <i>Arturo Paz Pérez</i> <i>Humberto García Castellanos</i> <i>Jorge de la Riva Rodríguez</i>	64
Industria 4.0: Tendencia basado en análisis bibliométrico. <i>Javier Antonio Lom Hernandez</i> <i>Adan Valles Chávez</i> <i>Eduardo Rafael Poblano Ojinaga</i>	86
Validación de identidad en línea de bajo costo y requisitos mínimos de hardware para ingreso a Instituciones de Educación Superior del Tecnológico Nacional de México. <i>Rigoberto Reyes Valenzuela</i> <i>Manuel de Jesús López Pérez</i> <i>Rubén Juárez Rodríguez</i>	111

Redes bayesianas y sus aplicaciones contemporáneas.

Luz Angélica Aguilar Chávez

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Lizette Alvarado Tarango

128

**Introducción a la optimización robusta e ingeniería predictiva:
una revisión de literatura.**

Gabriel Gómez Martínez

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga

156

**Detección de anomalías en una impresora 3d bajo el paradigma de la industria
4.0 usando unidades de medición inercial y aprendizaje profundo.**

Carlos Alberto Ronquillo Salas

Ulises Martínez Contreras

Adán Valles Chávez

183

Curriculum Vitae

203

Industria 4.0: Tendencia basado en análisis bibliométrico

Industry 4.0: Bibliometric analysis trend

Javier Antonio Lom Hernández

Tecnológico Nacional de México/ IT de Cd. Juárez, México

Javier.lh01@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2167-5050>

Adán Valles Chávez

Tecnológico Nacional de México/ IT de Cd. Juárez, México

avalles@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6559-0123>

Eduardo Rafael Poblano Ojinaga

Tecnológico Nacional de México/ IT de Cd. Juárez, México

sadministrativa@cdjuarez.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3482-7252>

Resumen

El principal enfoque de este artículo es entender los cambios y el desarrollo de la literatura sobre I4.0 a través de los años. La intención es tomar como base trabajos previos enfocados en periodos de tiempo anterior y tomar un punto de vista contemporáneo y mostrar la tendencia actual, así como pronosticar desarrollos futuros. Los depósitos Google Scholar, ResearchGate, Scopus, entre otros, se usaron como herramientas de bases de datos de artículos. Conocer la tendencia del desarrollo de la literatura sobre I4.0, ayudara a otros investigadores a entender los esfuerzos actuales y justificar proyectos futuros.

Usando la palabra clave “Industria 4.0”, combinada con estrategia, estandarización, riesgo, manufactura, aplicaciones, logística y calidad, se analizaron 130 publicaciones para tratar de pronosticar el desarrollo futuro. Se obtiene una gráfica de distribución de temas generales, así como el seguimiento del desarrollo año con año. Los resultados preliminares muestran que las aplicaciones en manufactura automotriz son el enfoque de las investigaciones actuales, pero hay señales que las publicaciones de investigación sobre este tema aumentan cada 3 o 4 años, por lo

que se puede estimar que estamos en la orilla de un aumento disruptivo y significativo de contenido específico y general publicado.

Palabras Clave: I4.0, estado del arte, estrategias de implementación.

Abstract

Main focus of this article is to understand the changes and development of literature on I4.0 across the years. The intention is to take as base previous Works that focused on earlier time periods and take a contemporary second look and map the current trend as well as to forecast future development. The depositories Google Scholar, Research Gate, Scopus, among others, were used as Data source tools. Knowing the trend of I4.0 literature development, will help other researchers to understand current efforts and to justify future endeavors.

Using keyword industry 4.0 combined with strategy, standardization, risk, manufacturing, applications, logistics and quality, 130 publications were analyzed to try and forecast future developments. A general theme distribution graph is obtained, as well as a year development follow-up. Preliminary findings show that applications in automotive manufacturing are the focus of current investigations, but there are signs that research publications have an increase every 3=4 years, so it could be estimated that we are on the edge of a disruptive rise in I4.0 specific and general content publications.

Keywords: I4.0, state of the art, implementation strategies

Introducción

La Industria 4.0, comúnmente se define como el conglomerado de tecnologías y recursos disponibles para crear entornos virtuales, digitales y ciber-físicos. Permite tener procesos asistidos, mejorar la toma de decisiones y poder crear una copia digital del proceso físico para su simulación y control. Uno de los beneficios de este fenómeno tecnológico, social e industrial, es que asocia diversas disciplinas, sectores y tecnologías, permitiendo el desarrollo en varias direcciones del conocimiento. Este desarrollo puede estar limitado por varios factores, como las regiones geográficas, la cultura, el nivel socioeconómico, restricciones gubernamentales, nivel académico,

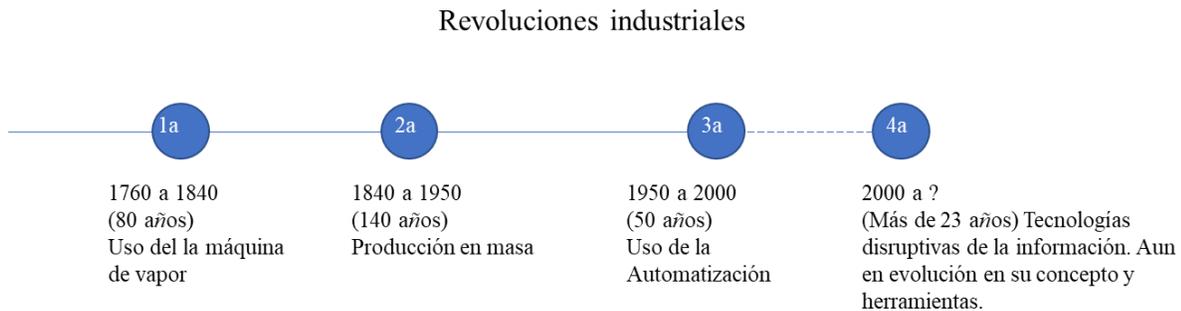
mano de obra, entre otros. Pero esto no ha mermado el interés global en poder aprovechar las nuevas tecnologías, por lo que las aplicaciones e innovaciones en este ramo crecen constantemente.

El estado del arte en este campo está en constante cambio. Tanto promotores de su desarrollo como detractores de la propuesta presentan publicaciones que, en su propio ámbito, demuestran que aún es tierra fértil para innovación y descubrimiento. En su contra se han presentado argumentos que previenen de un posible reemplazo de la mano de obra humana o del costo insustentable para su implementación. Esto ha hecho, a su vez, que los promotores de la Industria 4.0 propongan ideas cada vez más innovadoras que permiten el avance tecnológico e industrial de la mano con la consideración del desarrollo y sustento humano. La justificación de cada uno de estos argumentos debe estar basada en el análisis de las teorías relacionadas con la industria 4.0, que ha ido cambiando constantemente desde que el término nació en el año 2011.

Antecedentes

Industria 4.0, como término al que también se le conoce como cuarta revolución industrial, fue presentado en la feria de Hannover en 2011, seguido de un trabajo de colaboración especial en 2012 presentado por Siegfried Dais y Henning Kagermann. En 2013, se presentaron trabajos que afinaron el concepto de la estrategia conocida como Industria 4.0 (Hercko, 2016), aunque también se menciona que es la respuesta a la crisis inicial del 2008 presentada por la Unión Europea (Novakova, 2017). Esta revolución se diferencia de las anteriores (Figura 1) porque mezcla tanto el mundo virtual como el mundo real, teniendo interacción con toda economía e industria (Schwab, 2015).

Figura 1. Fases o revoluciones de la industria



Fuente: Elaboración propia

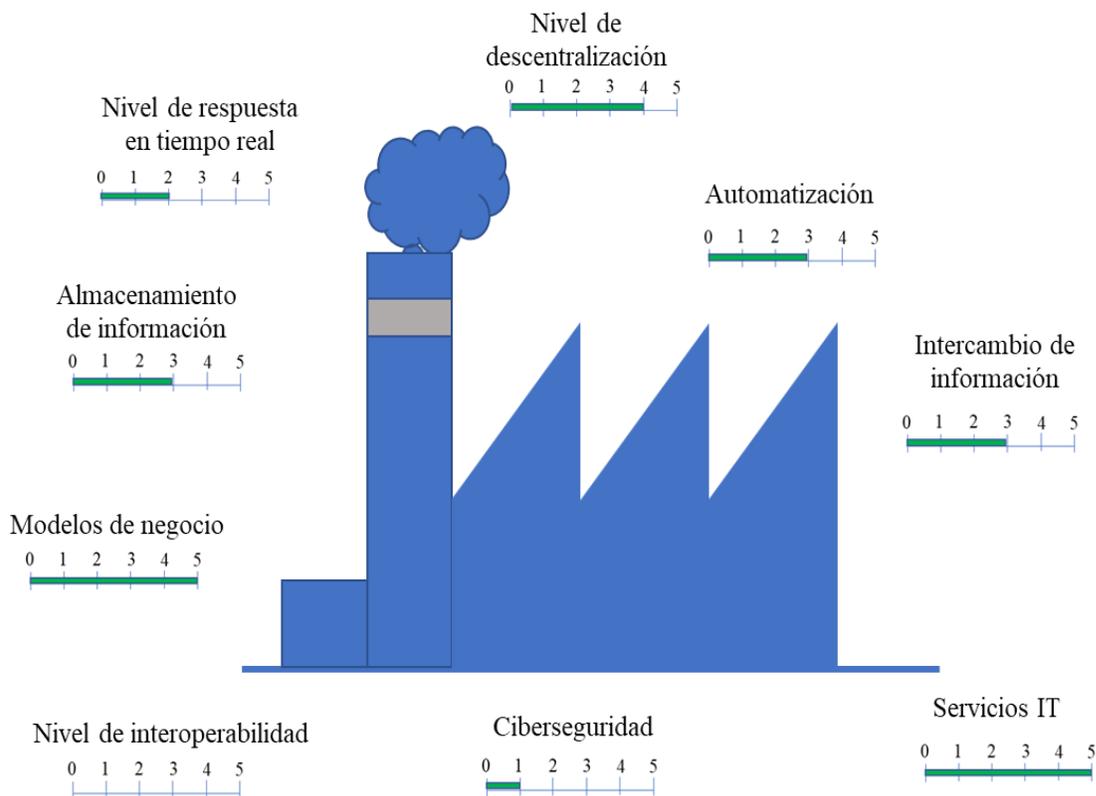
La industria 4.0 es descrita (Lasi y Kemper, 2014) como un proyecto futuro que tiene desarrollo en dos direcciones. La primera, definida por la demanda de aplicaciones, apoyada por el corto periodo de desarrollo, la personalización, flexibilidad, descentralización y eficiencia de recursos. La segunda, es el empuje de la utilización de tecnología en la industria. Se tienen avances pequeños como tablets, impresoras 3D, laptops, entre otros, pero hay otros enfoques que se pueden utilizar, como incrementar la automatización y mecanización, digitalización y redes, miniaturización.

De acuerdo con la revisión de la literatura, se tienen seis principios de diseño en la Industria 4.0 (Pentek, 2016), que son la base de la teoría de diseño o arquitectura en I4.0: Interoperabilidad. Habilidad de conexión y comunicación entre personas y dispositivos, Virtualización. Establecer una réplica del mundo real en el virtual por medio de sensores, Decisiones descentralizadas. Toma de decisiones dentro de cada sistema individual y completar actividades de forma autónoma, Tiempo real. Los datos se recolectan y analizan al instante, Orientado al servicio. Los servicios de los diferentes componentes están disponibles en el Internet de Sistemas (IoS) y pueden usarse por otros, Modularidad. Los sistemas se pueden expandir o adaptar añadiendo módulos individuales.

Se han identificado nueve pilares en el desarrollo de tecnología en industria 4.0 (Gerbert Phillip, 2015): Grandes Datos y análisis, simulación, robots autónomos, integración tanto horizontal como vertical de los sistemas, Ciberseguridad, el internet industrial de las cosas (IIoT), la nube, realidad aumentada y fabricación aditiva. El efecto en cada uno de estos pilares deberá considerarse al momento de tomar una decisión de implementación (Githarti, 2016).

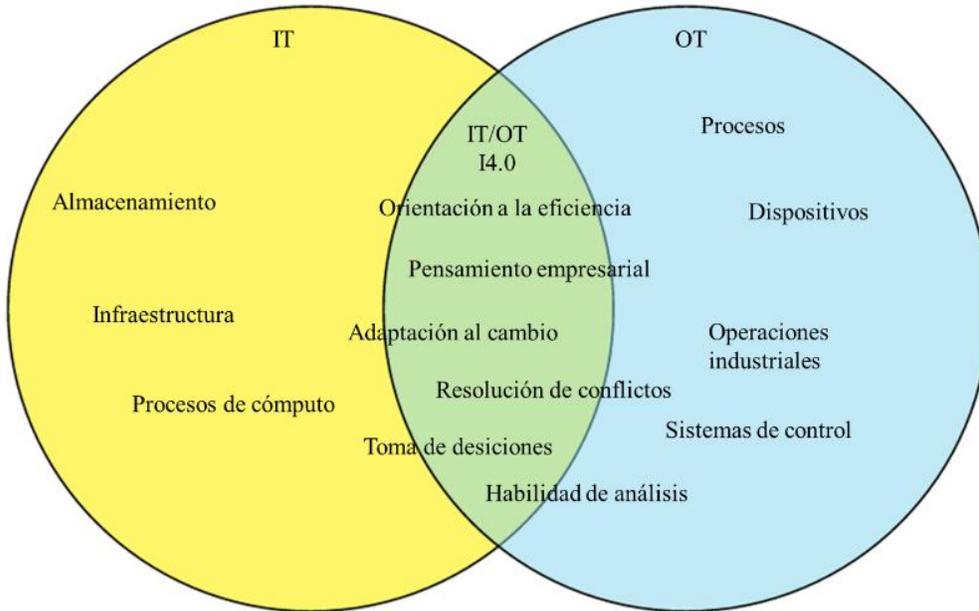
Se ha determinado que se requiere de un conjunto de competencias tanto organizacionales como individuales para poder desarrollar con éxito la implementación de Industria 4.0 (Anderl, 2015). Estas competencias serán el punto clave del desarrollo laboral en un futuro, incrementando la mano de obra especializada en todos los niveles (Grzybowska, 2017). Las competencias organizacionales (Figura 2), son evaluadas a nivel empresa, mediante índices obtenidos por medio de encuestas a expertos encargados del desarrollo de I4.0 en dichas empresas o auditores encargados de evaluar el nivel de madurez en este tema. Las competencias individuales para llevar a cabo la implementación de proyectos de I4.0, pueden depender de distintos factores. La mezcla del perfil asociado a las tecnologías de la información (IT) y el correspondiente a las tecnologías de operaciones (OT), denominado (IT/OT), se presenta en la Figura 3, como una alternativa en la búsqueda del perfil de un practicante de la I4.0.

Figura 2. Competencias organizacionales para el desarrollo de I4.0



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Competencias individuales para el desarrollo de I4.0



Fuente: Elaboración propia

Materiales

Los materiales utilizados se basan en la literatura obtenida mediante la consulta de depósitos de artículos o bases de artículos disponibles, como los siguientes: WoS, Scopus, Google Scholar, IEEE Explore, JSTOR, DOAJ y Research Gate.

Métodos

Para la visualizar el progreso del estado del arte del tema Industria 4.0, se tomaron en cuenta artículos en las bases de datos WoS, Google Scholar, ResearchGate, entre otros. Desde que el tema I4.0 surgió en el año 2011, se han publicado miles de artículos. Se revisaron los temas generales

propuestos de la Tabla 1 (elaboración propia), la cual arroja un listado de 130 publicaciones (Tabla 2) que será analizada para tratar de entender la evolución de la literatura sobre I4.0 y justificar un pronóstico del enfoque de futuras publicaciones.

Tabla 1. Temas iniciales de búsqueda en depósitos de artículos en conjunto con el término I4.0

Palabras clave
Estrategia
Estandarización
Riesgo
Manufactura
Ejemplos
Logística
Calidad

Fuente: Elaboración propia

Analizando el listado de publicaciones, se puede definir un concepto que represente el tema de la publicación. Las publicaciones se pueden analizar por el año de publicación (Tabla 3), o por tema (Tabla 4). Podemos ver en las tablas que 2017 es el año con la mayor frecuencia de publicaciones. Además de los enfoques en temas generales, la estandarización es un área de enfoque actual. Al revisar los datos con enfoque en el tema, los tópicos generales siguen teniendo la frecuencia más alta, pero las estrategias de implementación, el sector automotriz y la estandarización siguen esta tendencia. Los datos se representan visualmente en la figura 4 y 5 para un mejor entendimiento del desarrollo de la literatura.

Tabla 2. Resultado de búsquedas en bases de artículos usando palabras clave

Título del artículo	Año	Título del artículo	Año	Título del artículo	Año
Industry 4.0- Opportunities and challenges of the industrial internet	2014	COLLABORATIVE ENGINEERING DESIGN AND OPTIMIZATION OF COMPANY RESOURCES	2017	El reto de la educación superior ante la industria 4.0	2019
Industria 4.0 – Internet de las Cosas	2014	Industry 4.0 as an example of a top-down vs. horizontal Europeanization.	2017	Smart industry 4.0	2019
las tecnologías IoT dentro de la industria conectada 4.0	2015	How Robots change the world	2017	Innovación tecnológica industria 4.0 y tecnología inteligente	2019
Así moderniza EEUU su industria	2015	Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios	2017	México y la industria 4.0	2019
Guideline Industry 4.0- Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses	2015	The visión of the Industrie 4.0 in the Making- a Case of Future Told, Tame and Traded	2017	Los beneficios de la industria 4.0 llegan a pequeñas y medianas empresas brasileñas	2019
Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries	2015	Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet.	2017	La cuarta revolución industrial está sobre nosotros	2019

Germany's Industry 4.0 strategy	2016	Industry 4.0 and Object-Oriented Development: Incremental and Architectural Change	2017	Cuando el destino nos alcance... con la industria 4.0	2019
THE ADVENT OF INDUSTRY 4.0 IN MANUFACTURING INDUSTRY: LITERATURE REVIEW AND GROWTH OPPORTUNITIES	2016	Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing	2017	Cómo está enfocando Europa la Industria 4.0	2019
Estandarización para la Industria 4.0	2016	The challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises	2017	Está realmente preparado para la Industria 4.0?	2019
Industria 4.0, el detonante del cambio en el sector automotriz	2016	A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	2017	La estrategia de Europa ante la Industria 4.0	2019
¿Qué país está a la cabeza en la carrera por la industria 4.0?	2016	The Fourth Industrial Revolution	2017	Europa está venciendo a Estados Unidos en Industria 4.0	2019
Moving Towards Industry 4.0: A systematic review	2017	Industrie 4.0 implementations in the automotive industry	2017	"Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples	2020
La Digitalización y la Industria 4.0	2017	Industry 4.0	2017	4ta REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: INDUSTRIA 4.0	2020
LA INDUSTRIA 4.0: EL ESTADO DE LA CUESTIÓN	2017	Industrial Revolution- Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the First Victims of this Revolution?	2017	INDUSTRIA 4.0: ¿INTENSIFICACIÓN DEL PARADIGMA TIC O NUEVO PARADIGMA	2020

				TECNOORGANIZACION AL?	
La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su Impacto en la Educación Superior en Ingeniería en Latinoamérica y el Caribe	2017	Towards Industry 4.0: Gap Analysis between Current Automotive MES and Industry Standards using Model-Based Requirement Engineering	2017	Ideas y conceptos básicos para la comprensión de las industrias 4.0.	2020
Innovaciones tecnológicas en la educación en la cuarta revolución industrial	2017	Decoding the DNA of the Toyota Production System.	2017	Desarrollo, tendencias, aplicaciones y herramientas de la industria 4.0 en el sector textil	2020
El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras	2017	Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0	2017	Uso de herramientas de la industria 4.0 en instituciones educativas rurales de Yopal como estrategia para la identificación de competencias personales y técnicas	2020
Industria 4.0. Qué es, ventajas e inconvenientes	2017	Industry 4.0 as SMART enabler for innovative business models	2017	La toma de decisiones éticas en la industria 4.0	2020
la industria 4.0 revoluciona el sector automotor	2017	Production scheduling in Complex Job Shops from an Industrie 4.0 Perspective: A Review and Challenges in the Semiconductor Industry	2017	Business intelligence aplicado al control de la producción	2020
Industria 4.0, la cuarta revolución industrial y la inteligencia operacional	2017	Industry 4.0 – job-producer or employment-destroyer?	2017	Caso de estudio: BI aplicada a la optimización de recursos y tiempos de producción	2020

Diez empresas que lideran la Industria 4.0	2017	A Systematic Mapping Study on Modeling for Industrie 4.0	2017	¿Qué es la industria 4.0 y qué aporta a mi empresa?	2020
Industry 4.0: Cyber-Physical Systems and their impact on Business Models	2017	Factores de mayor Influencia en la efectividad de técnicas de la manufactura esbelta	2017	Entra en la Industria 4.0 con doeet	2020
<i>Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems</i>	2017	<i>Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits</i>	2018	<i>¿Cómo ayuda la industria 4.0 a la industria automotriz?</i>	2020
The Industrie 4.0 transition quantified	2017	The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison	2018	La industria 4.0, el futuro de la manufactura automotriz en México	2020
<i>7th International Conference on Information Society and Technology, ICIST</i>	2017	<i>INDUSTRIA 4.0 Fabricando el Futuro</i>	2018	<i>La industria 4.0 se implementa en el sector automotriz a velocidad crucero</i>	2020
Industry 4.0 with a Lean Perspective	2017	tecnologías 4.0 para la industria automotriz	2018	El sector automotriz en línea con la Industria 4.0	2020
Industrie 4.0-Hit or Hype?	2017	tecnología 4.0 para el sector automotor en México, promovida en salones experimentales	2018	Transformación digital, vital ante los retos del 2021	2020
A framework for implementing Industrie 4.0 in learning factories	2017	Industria 4.0, una revolución que se retrasa en México	2018	La digitalización y la industria 4.0 en el sector automotriz	2020

Standardization connecting the initiative Industry 4.0 and Service Life Cycle	2017	México establece estrategia para la industria 4.0	2018	Industrial Transformation MEXICO —Un evento de Hannover Messe—	2020
Industry 4.0: The industrial internet of things	2017	Europa encabeza el desarrollo de la industria 4.0	2018	Industria 4.0, herramienta clave para mantener la productividad en las empresas	2020
Creating Value with Industry 4.0	2017	Desentramando la Industria 4.0, una oportunidad para México	2018	La transformación de la industria automotriz mexicana	2020
Key competencies for Industry 4.0	2017	Industry 4.0- Competencies for a modern production system	2018	México se encamina a ser líder de la Industria 4.0 en América Latina	2020
Moving the Industry 4.0	2017	La estrategia alemana Industria 4.0: el capitalismo en la era de la digitalización	2019	La Industria 4.0 en México	2020
Industry 4.0- New Era of Manufacturing	2017	INDUSTRY 4.0: STATE OF THE ART AND RESEARCH IMPLICATIONS	2019	Industry 4.0, Quality 4.0 & New Product Development	2020
Towards In-Transit Analytics for Industry 4.0	2017	LA INDUSTRIA 4.0 Tecnologías habilitadoras	2019	las 10 tecnologías clave en la cadena de suministro	2021
SAIN4:State of the art report on industry 4.0	2017	ESTRATEGIA INDUSTRIA 4.0: DISEÑANDO EL CHILE FUTURO	2019	Qué es la industria 4.0 y qué beneficios tiene	2021
Science, Application and Methods in Industry 4.0	2017	LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA	2019	La 4ª Revolución Industrial en el sector de la automoción	2021

Why Industry 4.0 needs workplace innovation: A critical look at the German debate on advanced manufacturing	2017	Consecuencias económicas y sociales de la cuarta revolución industrial y estrategias pensadas para la adaptación de la actividad económica	2019	9 Tendencias que transformarán el Sector Industrial en 2021	2021
Industry 4.0	2017	Visión de las competencias de ingeniería industrial en industria 4.0	2019	De la industria 4.0 y cómo dar el siguiente paso	2021
A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems	2017	La industria 4.0. Análisis y estudio desde el Derecho en la 4ta Revolución Industrial	2019	Industrie 4.0 y la fábrica del futuro alemana.	2021
The flipside of Industrial 4.0 –Cyber Security Risk	2017	Aspectos Básicos de la industria 4.0	2019		
The Fourth Industrial Revolution and Ten Theses on Digitalization	2017	Era de la Cuarta Revolución Industrial	2019		
Business Models for Industry 4.0. Developing a Framework to Determine and Assess Impacts on Business Models in the Dutch Oil and Gas Industry	2017	Los retos de la implementación de la Industria 4.0	2019		
The Smart Production Laboratory: A Learning Factory for Industry 4.0 Concepts	2017	LA INDUSTRIA 4.0. El nuevo paradigma productivo del siglo XXI	2019		
The Industry 4.0 Journey: Start the Learning Journey with	2017	Desarrollo industrial 2050 Hacia una industria del futuro	2019		

the Architecture Industry 4.0	Reference Model						
-------------------------------------	--------------------	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 2 fue ordenada por año de publicación para un fácil acceso al investigador que desee entender los temas en ese periodo de tiempo. A continuación, procedemos con la tabla 3 para entender la frecuencia de cada subtema en cada periodo de tiempo. Se puede observar que hay temas en los que la frecuencia de publicación aumenta a medida que avanzan los años.

Tabla 3. Listado de publicaciones sobre I4.0 agrupado por subtema y año

Tema	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
General	0	1	0	16	2	11	5	3
Sector automotriz	0	1	1	3	2	4	0	0
Estrategia de implementación	0	0	1	3	2	0	6	1
Estandarización	0	0	1	1	2	1	0	0
Estado del arte	1	1	0	1	0	1	0	0
Riesgo	0	1	0	3	0	2	0	0
Región	0	0	0	1	1	0	0	0
Control de producción	1	0	0	4	0	0	1	0
Impacto económico	0	0	0	2	0	1	1	0
Caso de estudio	0	0	0	0	0	0	2	1
Internet de las cosas	0	0	0	1	0	0	0	1

Sector educativo	0	0	0	3	0	0	1	0
Estructura organizacional	0	0	0	3	0	0	2	0
Manufactura esbelta	0	0	1	6	0	0	0	0
Sector industrial	0	0	0	2	0	3	0	0
Cadena de suministro	0	0	1	1	0	0	0	0
Oportunidades de crecimiento	0	0	0	1	0	0	1	0
Principios de diseño	0	0	0	1	0	0	0	0
Revisión/auditoría	0	0	0	0	0	0	1	0
Calidad 4.0	0	0	0	0	1	0	0	0
Evolución	0	0	0	0	0	0	1	0
Impacto ético	0	0	0	0	0	1	0	0
ingeniería industrial	0	0	0	1	0	0	0	0
Robótica	0	0	0	1	0	0	0	0
Sector textil	0	0	0	0	0	0	1	0
Total	2	4	5	54	10	24	22	6

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Gráfica de publicaciones sobre I4.0 por año

Fuente: Elaboración propia.

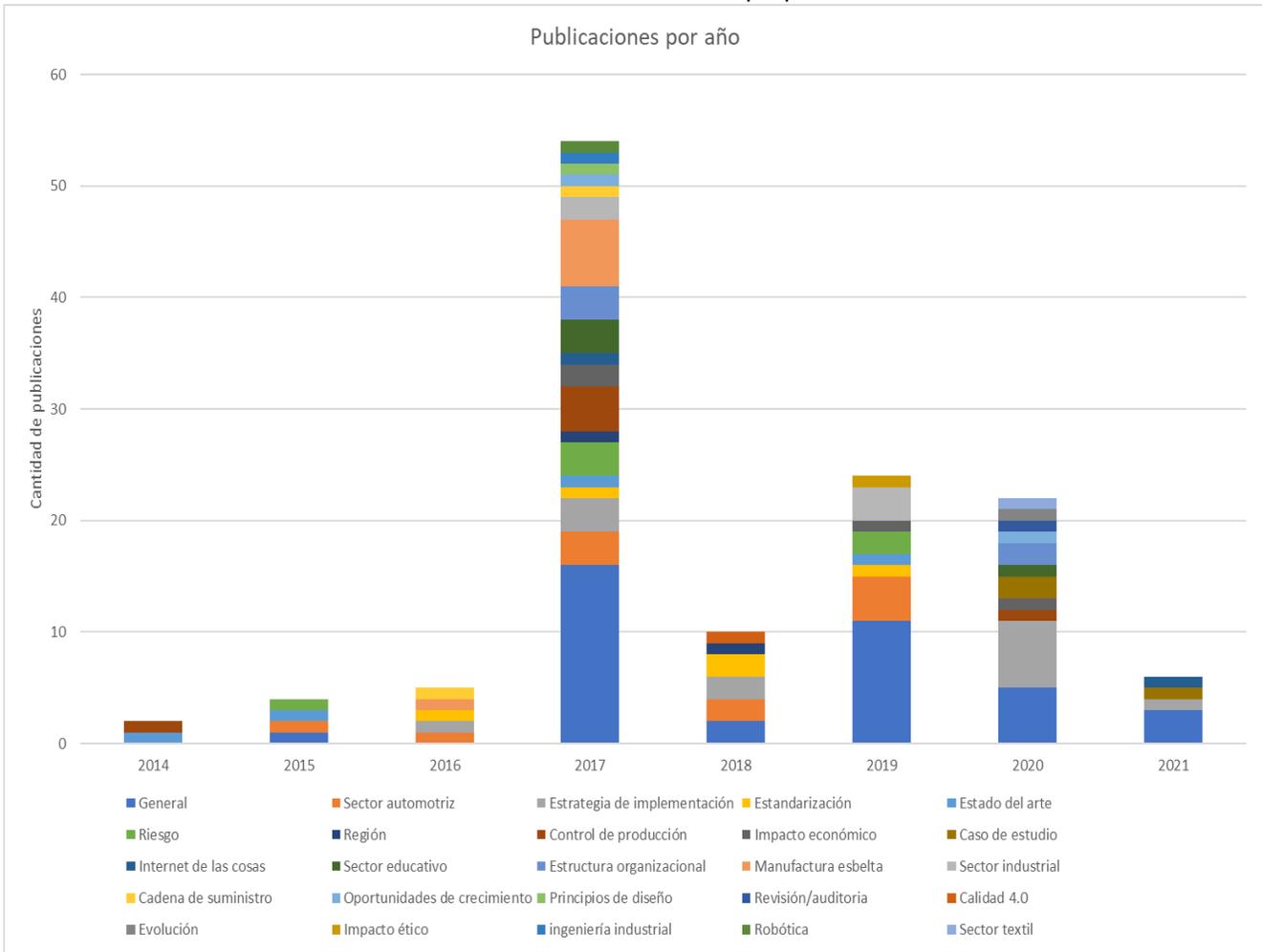


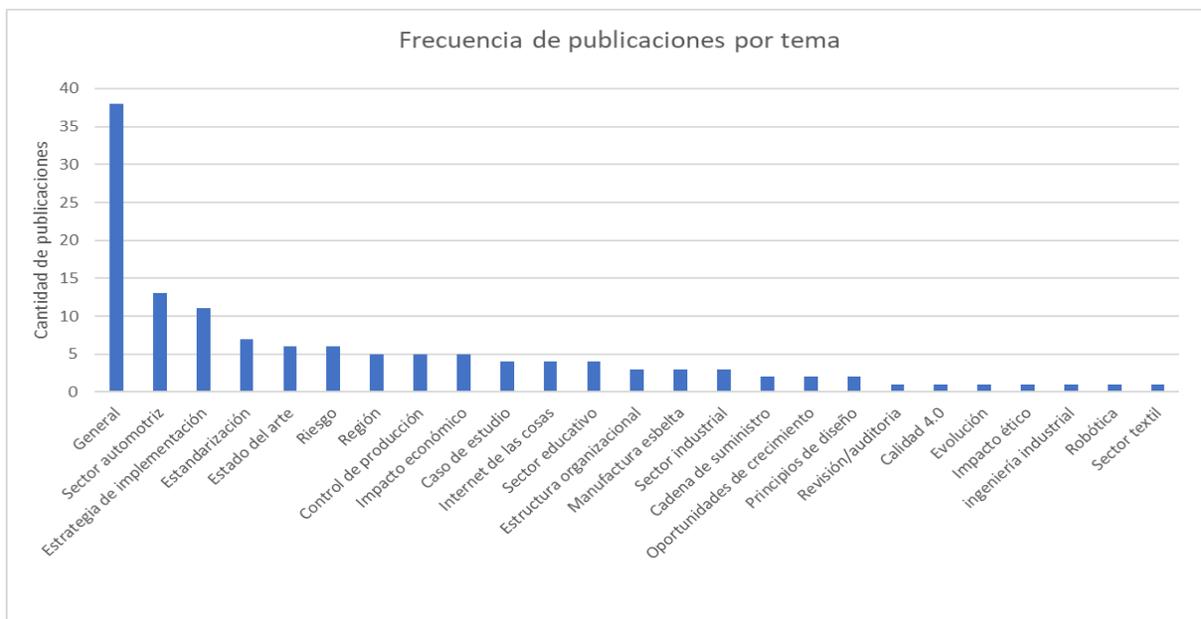
Tabla 4. Listado de publicaciones sobre I4.0 agrupados por tema y frecuencia

Tema	Frecuencia
General	38
Sector automotriz	13
Estrategia de implementación	11
Estandarización	7
Estado del arte	6
Riesgo	6
Región	5
Control de producción	5
Impacto económico	5
Caso de estudio	4
Internet de las cosas	4
Sector educativo	4
Estructura organizacional	3
Manufactura esbelta	3
Sector industrial	3
Cadena de suministro	2
Oportunidades de crecimiento	2

Principios de diseño	2
Revisión/auditoria	1
Calidad 4.0	1
Evolución	1
Impacto ético	1
ingeniería industrial	1
Robótica	1
Sector textil	1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Gráfica de publicaciones sobre I4.0 por tema



Fuente: Elaboración propia.

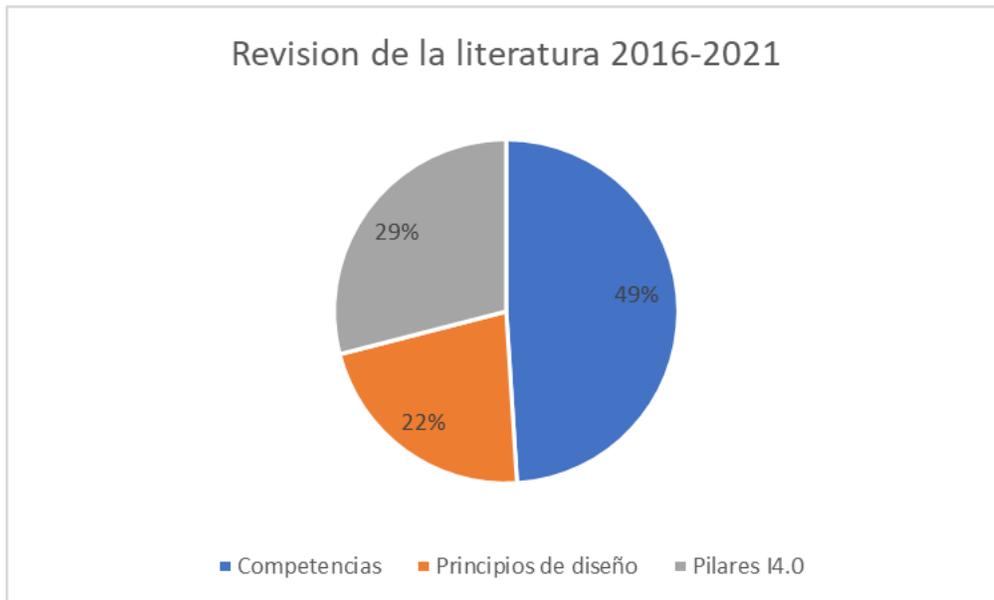
Una revisión específica de la literatura es propuesta para tratar de entender el desarrollo de tres factores en específico: Pilares de la industria 4.0, principios de diseño de la I4.0 y competencias internas/externas para el desarrollo de I4.0, ya que forman parte de una investigación paralela sobre su impacto en el valor agregado. El motor de búsqueda utilizado fue Google scholar, con 240 artículos utilizando las palabras clave mencionadas. Una vez filtrados, se obtuvieron 31 artículos relevantes relacionados a competencias, 28 para principios de diseño y 36 para pilares de I4.0, mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Cantidad de publicaciones sobre los subfactores de la I4.0 específicos propuestos durante el periodo (2016-2021)

I4.0 Factors	Qty
Competencias	31
Design principles	14
I4.0 Pillars	18
Total	63

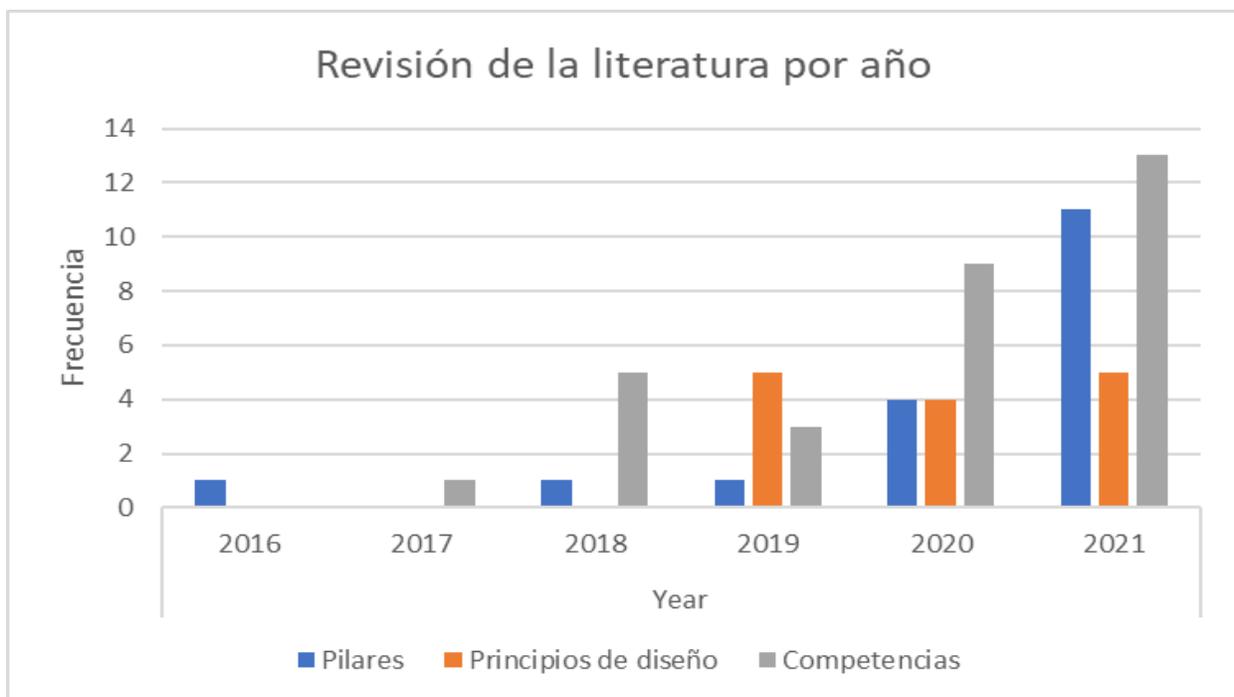
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Porcentaje de publicaciones de los subfactores propuestos



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Publicaciones por año de subfactores propuestos



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Los datos preliminares sugieren que hay un pico periódico en la publicación de tópicos específicos, mientras que los temas generales se mantienen estables durante todos los periodos. Una explicación propuesta para esto es el alto costo de implementación de soluciones I4.0, con un largo retorno de la inversión. Esto sugiere que una vez que se selecciona una estrategia de implementación, se puede desarrollar un tópico en específico y, una vez implementado, los resultados se pueden analizar y generar publicaciones subsiguientes, lo que explica el retraso de 3 a 5 años en las publicaciones.

En referencia a los subcomponentes propuestos en la tabla 2, observamos que temas administrativos como las competencias adquieren mayor relevancia, basándonos en el incremento de publicaciones, mientras que temas conceptuales como los principios de diseño mantienen un bajo volumen de publicación debido tal vez a su naturaleza taxonómica.

Conclusiones

Esta investigación muestra que el análisis bibliométrico puede ayudar a comprender tanto el enfoque de la investigación actual como el desarrollo de las estrategias de implementación, así como de preparación tanto a nivel individual como empresarial.

Los datos acerca de los subfactores propuestos (Pilares, principios de diseño y competencias), nos muestran que vale la pena explorar la interacción de los mismos, ya que las publicaciones de estos temas están en aumento. En el aspecto humano, las competencias interpersonales serán de vital importancia tanto para la implementación como para la sustentabilidad de los proyectos I4.0.

Futuras Investigaciones

Se recomienda, como futura investigación, explorar más sobre los efectos de los factores más frecuentes en la revisión de la literatura del tema I4.0 sobre el valor agregado.

Agradecimientos

Un agradecimiento sincero al Dr. Adan Valles Chavez y al Dr. Eduardo Rafael Poblano Ojinaga por su gran soporte en la elaboración y revisión de este artículo.

Referencias

- Anderl, R., Picard, A., Wang Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., Bauer, J., Frankfurt(2015). "Guideline Industry 4.0- Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses". <https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/0/Guideline%20Industrie%204.0.pdf/70abd403-cb04-418a-b20f-76d6d3490c05>
- Arvind, A. (2016). "Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems". Universidad Carnegie Mellon. https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2016/8/thesis1-Arvind.pdf
- Dassisti, M., Panetto, H., Lezoche, M., Merla, P., Semeraro, C., Giovannini, A., Chimienti, M. (2017). 7th International Conference on Information Society and Technology. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01526397/27>
- De Vasconcelos, A., & Linard, A.(2017). "Industry 4.0 with a Lean Perspective". Universidad UPPSALA. <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118830/FULLTEXT01.pdf>
- Drath, R., Horch, A (2014). "Industrie 4.0-Hit or Hype?". IEEE Industrial Electronics Magazine 01/2014; 8(2):56-58, 2014. https://www.researchgate.net/publication/263285662_Industrie_40_Hit_or_Hype_Industry_Forum
- Du Plessis, C. (2017). "A framework for implementing Industrie 4.0 in learning factories" Universidad de Stellenbosch. https://www.google.com/url?q=https://scholar.sun.ac.za/bitstream/handle/10019.1/101189/duplessis_framework_2017.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&sa=U&ved=0ahUKEwjHkd-loNPXAhUV3YMKHBJABw84MhAWCBMwBw&client=internal-uds-cse&cx=017986067167581999535:rnewgrysmpe&usq=AOvVaw154iMF3U7gWqDVbXJKKfcr
- Enke, J., Glass, R., Kress, A., Hambach, J., Tisch, M., Metternich, J. (2018). "Industry 4.0 - Competencies for a modern production system". <https://www.Sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918305006>
- Githarti, M, (2016). "Creating Value with Industry 4.0". <http://hdl.handle.net/1721.1/107606>
- Grzybowska, K., Lupicka, A., (2017). "Key competencies for Industry 4.0". https://www.Researchgate.net/publication/322981337_Key_competencies_for_Industry_40
- Gunther, F., Heinz, M., Fessl, A. (2017). "Moving the Industry 4.0" <https://zenodo.org/record/456320#.WhyLQjypvMs>
- Hercko, J., Slamkova, E. (2106). "Industry 4.0- New Era of Manufacturing". https://www.researchgate.net/publication/285597327_INDUSTRY_40_-_NEW_ERA_OF_MANUFACTURING

- Hill, R., Devitt, J., Anjum, A. Ali, M., (2017). "Towards In-Transit Analytics for Industry 4.0". Cornell University. <https://arxiv.org/abs/1710.04121>
- ITI (2016). "SAIN4:State of the art report on industry 4.0". <https://zenodo.org/record/274043#.WhYE0zypvMs>
- Kopp, R., Howaldt, J., Schultze, J. (2016). "Why Industry 4.0 needs workplace innovation: A critical look at the German debate on advanced manufacturing". *European Journal of Workplace Innovation*. V2(1) <http://journal.uia.no/index.php/EJWI/article/view/373>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). "Industry 4.0". <https://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs12599-014-0334-4>
- Nardello, M., Moller, C. & Gotze, J. (2016). "The Industry 4.0 Journey: Start the Learning Journey with the Reference Architecture Model Industry 4.0". <http://ceur-ws.org/Vol-1898/paper13.pdf>
- Neculai, C. (2015). "COLLABORATIVE ENGINEERING DESIGN AND OPTIMIZATION OF COMPANY RESOURCES". Universidad de Sibiu, Rumania. http://doctorate.ulbsibiu.ro/obj/documents/abstract_DobrinCarmen.pdf
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. Slovenia (2016). "A Complex View of Industry 4.0". *En SAGE Journals*. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2158244016653987>
- Pentek, H., (2016). "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios". <http://ieeexplore.ieee.org/document/7427673/?reload=true&arnumber=7427673&newsearch=true&queryText=industrie%204.0%20design%20principles>
- Salimbeni, Sergio (2020). "Industry 4.0, Quality 4.0 & New Product Development". https://www.researchgate.net/publication/338459549_Industry_40_Quality_40_New_Product_Development
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J., USA(2016), "Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing", *JIEM*, 2016 – 9(3): 811-833. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Sateesh V. Shet a*, Vijay Pereira. (2021) " Proposed managerial competencies for Industry 4.0 – Implications for social sustainability". *Technological Forecasting & Social Change* 173 (2021) 121080. https://www.researchgate.net/profile/Sateesh-Shet/publication/353846472_Proposed_managerial_competencies_for_Industry_40_-_Implications_for_social_sustainability/links/61151ed7169a1a0103f89cf0/Proposed-managerial-competencies-for-Industry-40-Implications-for-social-sustainability.pdf
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). "A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises". https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_255446.pdf

Schwab, K. (2015). "The Fourth Industrial Revolution". <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>

Segura-Velandia, D., (2016). "Industrie 4.0 implementations in the automotive industry". https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/23402/3/Industrie%204.0%20Implementations%20in%20the%20automotive%20industry_%20ICMR%202016_vfinal_corrections.pdf

SMIT, J., Krautzer, S., Moeller, C., & Carlberg, M. (2016). "Industry 4.0". [http://www.Europa.eu/regData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](http://www.Europa.eu/regData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)

Soundarapandian, M., Suri, K., Cadavid, J., Barosan, I., Van Den Brand, M., Alferez, M., & Gerard, S. (2017). "Towards Industry 4.0: Gap Analysis between Current Automotive MES and Industry Standards using Model-Based Requirement Engineering". Cornell University Library. <https://arxiv.org/abs/1704.02824>

Stock, T., Seliger, G. (2016). "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0" <https://core.ac.uk/download/pdf/82023214.pdf>

Wortmann, A., Combemale, B., Barais, O. (2017). "A Systematic Mapping Study on Modeling for Industrie 4.0". <https://hal.inria.fr/hal-01514421>

Se termino en julio 2023 en los talleres de Editorial Centro de Estudios e
Investigaciones para el Desarrollo Docente. CENID A.C.
Pompeya 2705, Col. Providencia, C.P. 55670, Guadalajara, Jal. México.
Teléfono: 01 (33) 1061 8187



ISBN 978-607-8830-23-7

