ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.889

Effects of Industry 4.0 Implementation on Process Management: A Systematic Review of the Literature 2017 – 2024

Pacheco-Carranza Elizabeth Mariella, Industrial Engineering Student[1], Torres-Velásquez Julio Winston, Master in Operations and Supply Chain Management[2], Rivas-Mendoza Milagros Isabel, Maestra en Ciencias de la Educación mención Docencia e Investigación[3]
[1,2,3] Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u20246673@utp.edu.pe, c23976@utp.edu.pe, c23212@utp.edu.pe

Abstract*– the purpose of this study is to evaluate the effects of the implementation of Industry 4.0 in process management in industries in the productive, health and business sectors, as well as to identify the technological tools applied in companies. Therefore, a systematic review of scientific literature was carried out between 2017 and 2024 based on a collection of Scopus data. 22 investigations that met the eligibility criteria were identified. The results show the effectiveness of Industry 4.0 tools when implemented in a company's processes. These allow for greater versatility in decision-making, the empowerment of processes, and increased quality. The most representative tools are the MES (Manufacturing Execution System), the HORSE system, and the BPM (Good Manufacturing Practices). In conclusion, this study shows the importance of implementing I4.0 to achieve optimal integration of processes in business management, which impacts the performance and productivity of corporations.

Keywords*-- Industry 4.0, process management, business process management, artificial intelligence, digital transformation, energy efficiency.

Efectos de la Implementación de la Industria 4.0 en la Gestión de Procesos: Una Revisión Sistemática de entre Literatura 2017 – 2024

Pacheco-Carranza Elizabeth Mariella, Estudiante de Ingeniería Industrial[1], Torres-Velásquez Julio Winston, Magíster en Dirección de Operaciones y Cadena de Abastecimiento[2], Rivas-Mendoza Milagros Isabel, Maestra en Ciencias de la Educación mención Docencia e Investigación[3]
[1,2,3] Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u20246673@utp.edu.pe, c23976@utp.edu.pe, c23212@utp.edu.pe

Resumen*– el presente estudio tiene como propósito evaluar los efectos de la implementación de la industria 4.0 en la gestión de procesos en industrias de los sectores productivos, salud y empresariales, así como identificar las herramientas tecnológicas aplicadas en las empresas. Por ello, se realizó una revisión sistemática de literatura científica entre 2017 y 2024 en base a una recopilación de datos Scopus. Se identificaron 22 investigaciones que satisfacían los criterios de elegibilidad. En los resultados se puede evidenciar la eficacia de las herramientas de la industria 4.0 al ser implementadas en los procesos de una empresa. Estas permiten una mejor versatilidad en la toma de decisiones, la potenciación de procesos, y el incremento de la calidad. Las herramientas más representativas son el MES (Manufacturing Execution System), el sistema HORSE y el BPM (Buenas Prácticas de Manufactura). En conclusión, este estudio evidencia la importancia de la instauración de la I4.0 para lograr la integración óptima de los procesos en la gestión empresarial, la cual repercute en el rendimiento y productividad de las corporaciones.

Palabras clave-- Industria 4.0, gestión de procesos, gestión de procesos de negocio, inteligencia artificial, transformación digital, eficiencia energética.

I. INTRODUCCIÓN

En la última década, el sector industrial está atravesando una transformación hacia el concepto de Industria 4.0 y las llamadas fábricas inteligentes [1]. Es decir, las tendencias actuales en las tecnologías de comunicación están estrechamente relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas ciberfísicos. Gobiernos, empresas y universidades están diseñando estrategias para avanzar en esta evolución, con el fin de consolidar la cuarta revolución industrial [2].

La Industria 4.0 es la cuarta etapa de la mecanización industrial, cuyo objetivo es alcanzar un nivel elevado de automatización en la fabricación mediante el uso de herramientas tecnológicas de la información, eliminando los impedimentos entre el mundo físico y el implícito, dando paso a los sistemas de producción ciberfísicos [3]. Esta cuarta revolución industrial distinguida como Industria 4.0, resulta del avance acelerado de las TIC y la tecnología, impulsada por las industrias que buscan adoptar estos cambios. Combina estructuras físicas, digitales y biológicas para formar una red de fabricación avanzada que cambia nuestra manera de ver e interactuar con el entorno [4].

La I4.0 incorpora diversas tecnologías en los mecanismos industriales, como el Big Data y la impresión 3D. Últimamente, su adopción ha crecido en varios sectores, lo que ha mejorado la producción y permitido el desarrollo de nuevos productos [5]. Se espera que la eficiencia aumente a través del análisis y extracción de datos, lo que, a su vez, incrementará la productividad, reducirá los costos y mejorará la competencia entre las industrias locales, regionales e internacionales [6]. Este período traerá nuevos modelos de manufactura y de administración del capital humano, lo que requerirá que las empresas dispongan de estructuras flexibles y una fuerza laboral capacitada, abierta al cambio, la innovación, la imaginación, al trabajo cooperativo y la resolución de problemas [7].

Además, la I4.0 es una sublevación técnico científica que transforma tanto la sociedad como a la economía, destacándose por su disposición para generar información, esto a su vez facilita a los sistemas de los procesos productivos crear utilidad de una forma inteligente manteniéndose independiente e interconectada conectada [8]. Esta revolución está estrechamente relacionada con la globalización, que ha pasado por etapas como la división del trabajo comercial, la descentralización de la producción y la centralización de los servicios laborales [9].

Para la Industria 4.0, es clave desarrollar tecnologías que gestionen procesos industriales específicos, como la disposición de transformar una gran masa de datos en tiempo real, cumplir con requisitos de latencia, ajustar la capacidad de cómputo según la carga de trabajo y utilizar inteligencia artificial y aprendizaje automático [10].

En la industria manufacturera, los salarios suelen ser más altos que en otros sectores económicos, y las diferencias en cualificaciones y remuneraciones son menos marcadas que en el sector de los servicios. Por tanto, la reducción de estos salarios podría agravar la polarización social [11]. Este concepto engloba maquinaria, dispositivos con sensores y software interconectados que facilitan la predicción, control y mejora de los resultados organizacionales. Además, está relacionado con los sistemas ciberfísicos que integran la producción, almacenamiento, logística y redes de trabajo para generar valor [12].

La gestión por procesos tiene como propósito optimizar la eficiencia interna y descartar las tareas que no contribuyen

valor al cliente, siendo de especial importancia en tiempos de crisis. Un "proceso" se entiende como la organización de recursos y actividades para transformar insumos, generar valor y entregar productos a clientes internos o externos [13]. El concepto de proceso ha sido gradualmente incorporado en los modelos de gestión empresarial, inicialmente tratado de forma aislada, sin ser considerado como un sistema integral para los cambios estratégicos [14]. Con el tiempo, la importancia de los procesos ha sido reconocida como una herramienta clave para transformar la empresa y adaptarse al mercado [15].

La innovación puede ser tecnológica u organizativa, e implica cambios en productos o procesos. Es por ello que, las innovaciones tecnológicas son fundamentales porque fomentan nuevas ideas y mejoran la capacidad de las organizaciones para integrar información externa [16]. Siendo así, la gestión de proyectos de software tiene como objetivo reducir los riesgos de fiasco por medio de la compilación de datos y el accionamiento de procesos estructurados, asegurando que el proyecto sea viable económicamente para la empresa [17].

Por todo lo anterior, se esboza argumentar la interrogante de pesquisa a continuación: **¿Cuál es el impacto de la industria 4.0 en la gestión de procesos?**

Del mismo modo, con el fin de profundizar el estudio, se determinaron en la estructura las siguientes preguntas PICO complementarias (Población, intervención, comparación y resultados):

PC1: ¿Qué herramientas han empleado las empresas?
PC2: ¿Qué efectos tiene la aplicación de la Industria 4.0 en la gestión de procesos en diferentes sectores?
PC3: ¿Cuál es el resultado de la implementación de Industria 4.0 en la eficiencia de la toma de decisiones?
PC4: ¿Cuál es el efecto observado en la optimización de procesos tras la implementación de Industrias 4.0?
PC5: ¿Cuál es el impacto en la calidad tras la ejecución y consecución de las tecnologías de Industria 4.0?

Este artículo presenta un registro sistemático de literatura en relación al efecto en el empleo de la Industria 4.0 en la gestión de procesos en el periodo 2017 – 2024. El objetivo es analizar y sintetizar los hallazgos de estudios previos para identificar las principales herramientas, aplicaciones, beneficios y desafíos de estas tecnologías en la gestión de procesos. Entre los objetivos específicos se encuentran: identificar la cantidad de artículos elaborados en el intervalo de año establecido, identificar los documentos más citados a nivel mundial, verificar la relación entre autor, palabras clave y fuentes, describir la producción científica según país y ordenar la concurrencia de palabras clave encontradas en los artículos seleccionados. Mediante esta investigación, se busca discernir cómo la Industria 4.0 puede potenciar la eficiencia, flexibilidad y sustentabilidad de los procesos empresariales. Al sistematizar este conocimiento, el presente estudio pretende contribuir al desarrollo de modelos de gestión más innovadores y eficaces, proporcionando a los investigadores y a las organizaciones una base sólida para guiar futuras implementaciones tecnológicas en la optimización de sus procesos.

II. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio, se ha propuesto realizar una revisión sistemática de literatura (RSL) enfocada en las herramientas existentes para la aplicación e integración de la I4.0 en el sector productivo secundario y terciario. La RSL es un sistema metódico que permite identificar desperfectos e incompatibilidades en el discernimiento y exigencia de investigación en un campo correspondiente, que resulta de la aplicación de métodos y aproximaciones necesarias, la cual se ve fuertemente apoyada por resultados descriptivos y gráficos para su fácil entendimiento [18].

El estudio hace uso de la declaración PRISMA 2020, la cual es un alcance metodológico para la elaboración, revisión y gestión de las revisiones sistemáticas y metaanálisis [19]. Durante los últimos años, PRISMA ha demostrado un gran avance al generar resultados importantes en campos como salud, ingeniería, educación, etc. [20]. Por lo antes dicho, se hace uso de PRISMA para la identificación de estudios, la revisión y la interpretación de resultados [21].

El estudio adopta un enfoque mixto, ya que el método de investigación elegido combina aspectos cualitativos y cuantitativos, con el propósito de recopilar y sintetizar la evidencia existente referido al efecto de la implementación de la Industria 4.0 en la gestión de procesos. Además, centra su atención en la recopilación y análisis de exploraciones, bases de datos y elementos bibliométricos relevantes para abordar preguntas de investigación específicas.

El mecanismo de investigación inició con la identificación de estudios en una base de datos concreta que abarca los temas científicos más actualizados del mundo con un alto grado de confiabilidad, SCOPUS, del cual, se extrajo toda la información pertinente al tema. Por ende, se realizaron búsquedas entre los años 2017 y 2024, que posteriormente proporcionó un fundamento teórico consistente sobre las variables de estudio.

Cabe señalar que relacionar las variables de estudio mencionadas fue un desafío constante. En algunas oportunidades fue imprescindible realizar búsquedas especializadas para obtener información importante.

En el transcurso de la etapa de selección de documentos, se tuvieron en cuenta las variables de estudio “industria 4.0” y “gestión de procesos”. El producto de la búsqueda inicial fue de 8,553 estudios, que, posteriormente, se sometieron a indicadores de supresión e incorporación mediante filtros inflexibles para aseverar la congruencia de los recursos literarios.

Como resultado, fueron seleccionados 40 estudios que cumplieron con los criterios establecidos previamente, como, variables de estudio, intervalo de tiempo, acceso abierto, palabras clave vinculadas, tipo de documento, área temática y etapa de publicación. En respuesta al párrafo anterior, la ecuación booleana resultante es la siguiente:

(TITLE-ABS-KEY ("Industry 4.0") AND TITLE-ABS-KEY ("process management")) AND PUBYEAR > 2016 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (OA , "all"))

AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "SOCI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "PHYS")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Industry 4.0") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Process Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Business Process Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Enterprise Resource Management") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Process Mining") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Digital Transformation") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Energy Efficiency") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Information Management")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

TABLA I
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN E INCLUSIÓN

Criterios de Inclusión	
CI1	Investigaciones especializadas en el campo temático de la industria 4.0 y en la gestión de procesos.
CI2	Los estudios deben brindar una herramienta que permita la aplicación de la industria 4.0 dentro de una empresa.
CI3	Las publicaciones deben de pertenecer al sector productivo secundario y terciario.
Criterios de Exclusión	
CE1	Investigaciones que se encuentren fuera del rango (2017 – 2024).
CE2	Las investigaciones diferentes a la categoría “Article”.
CE3	Estudios fuera del rango de “ingeniería”, “energía”, “negocios, gestión y contabilidad”, “ciencia ambiental”, “ingeniería química”, “ciencia de los materiales”, “química”, “ciencias de la decisión”, “bioquímica, genética y biología molecular” y “ciencias agrícolas y biología”.
CE4	Artículos que no se encuentren en la etapa final de publicación.
CE5	Investigaciones que no se encuentren escritos en el idioma inglés o español.
CE6	Artículos que no sean de acceso abierto.
CE7	Artículos que presenten estudios cualitativos.

Al culminar el proceso de selección, se incluyeron 22 artículos de estudios semejantes, en tanto, 18 investigaciones fueron desestimadas por incumplir con el sexto y séptimo criterio de exclusión, perteneciente a la temática del trabajo propuesto.

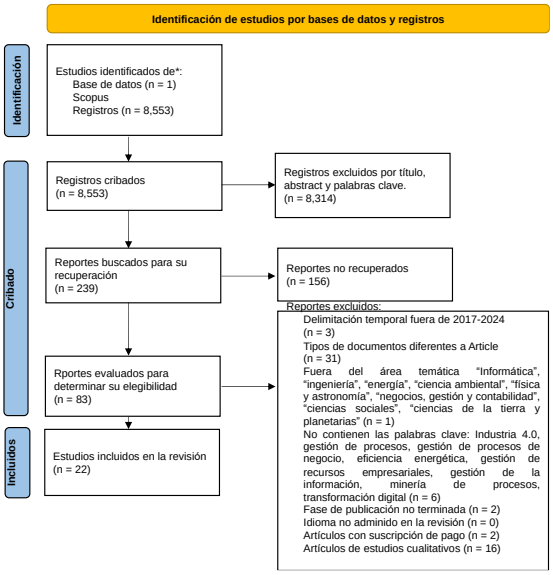

Fig. 1. Directriz prisma Diagrama de flujo para nuevos estudios sistemáticos que incluyeron búsquedas solo en bases de datos y registros.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A posteriori, se expone la etapa de resultados en la cual se muestra un resumen del contenido de los diversos trabajos considerados para este estudio sobre la industria 4.0 y la gestión por procesos durante el periodo 2017-2024, los cuales son 22, tal y como se percibe en la tabla II. Esta sección se divide en resultados bibliométricos y resultados de contenido.

Tabla II
INVESTIGACIONES INCORPORADAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA A PARTIR DE LA INDUSTRIA 4.0 Y EL EFECTO EN LA GESTIÓN DE PROCESOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE EL 2017-2024

Autores	Título de Estudio
G. Bergami, S. Appleby, and G. Morgan. [22]	Quickening Data-Aware Conformance Checking through Temporal Algebras †
A. Bianchini, I, Savini, A. Andreoni, M. Morolli, and V. Solfrini. [23]	Manufacturing Execution System Application within Manufacturing Small–Medium Enterprises towards Key Performance Indicators Development and Their Implementation in the Production Line
J. Erasmus, I. Vanderfeesten, K. Traganos, R. Keulen, and P. Grefen. [24]	The HORSE project: The application of business process management for flexibility in smart manufacturing.
J. Erasmus, P. Grefen, I. Vanderfeesten, and K. Traganos. [25]	Smart hybrid manufacturing control using cloud computing and the internet-of-things.
J. Fernandes, J. Reis, N. Melão, L. Teixeira, and M. Amorim. [26]	The role of industry 4.0 and bpmn in the arise of condition-based and predictive maintenance: a case study in the automotive industry.
M. Hornsteiner, P. Empl, T. Bunghardt, and S. Schönig. [27]	Reading between the Lines: Process Mining on OPC UA Network Data.

N. Ionescu, L. Ionescu, N. Rachieru, and A. Mazare. [28]	A MODEL FOR MONITORING OF THE 8D AND FMEA TOOLS INTERDEPENDENCE IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0
K. Kapustka, G. Ziegmann, D. Klimecka-Tatar, and S. Nakonczy. [29]	Process Management and Technological Challenges in the Aspect of Permanent Magnets Recovery - the Second Life of Neodymium Magnets.
N. Kazantsev, M. DeBellis, Q. Quboa, P. Sampaio, N. Mehandjiev, and I. Stalker. [30]	An ontology-guided approach to process formation and coordination of demand-driven collaborations.
D. Kozma, P. Varga, and F. Larrinaga. [31]	Dynamic Multilevel Workflow Management Concept for Industrial IoT Systems
J. Mangler, J. Grüger, L. Malburg, M. Ehrendorfer, Y. Bertrand, J. Benzin, S. Rinderle-Ma, E. Serral Asensio, and R. Bergmann. [32]	DataStream XES Extension: Embedding IoT Sensor Data into Extensible Event Stream Logs.
G. Maquera, B. da Costa, Ó. Mendoza, R. Salinas, and A. Haddad. [33]	Intelligent Digital Platform for Community-Based Rural Tourism—A Novel Concept Development in Peru.
I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, and I. Filippenko. [34]	DEVELOPMENT OF AN ARCHITECTURALLOGICAL MODEL TO AUTOMATE THE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF CREATING COMPLEX CYBERPHYSICAL INDUSTRIAL SYSTEMS.
R. Seiger, L. Malburg, B. Weber, and R. Bergmann. [35]	Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases.
V. Selicati, M. Mazzarisi, F. Lovecchio, M. Guerra, S. Campanelli, and M. Dassisti. [36]	A monitoring framework based on exergetic analysis for sustainability assessment of direct laser metal deposition process.
P. Shepita, L. Tupychak, and J. Shepita. [37]	Analysis of Cyber Security Threats of the Printing Enterprise.
L. Souza, E. Neto, E. Lima, and A. Junior. [38]	Optically-powered wireless sensor nodes towards industrial internet of things.
E. Stawiarska, and M. Stawiarski. [39]	Assessment of Patient Treatment and Rehabilitation Processes Using Electromyography Signals and Selected Industry 4.0 Solutions.
S. Temich, A. Pollak, J. Kucharczyk, W. Ptasiński, A. Mężyk, and D. Gąsiorek. [40]	Prediction of energy consumption in the industry 4.0 platform - Solutions overview.
A. Varnukhov. [41]	Hidden Markov model: Method for building a business process model.
R. Waszkowski, and G. Bocewicz. [42]	Visibility Matrix: Efficient User Interface Modelling for Low-Code Development Platforms.
P. Zhao, Y. Hui, Y. Qiu, M. Wang, S. Guo, B.Dai, J. Dou, S. Bhattacharya, and J. Yu. [43]	A machine learning and CFD modeling hybrid approach for predicting real-time heat transfer during cokemaking processes.

Fuente: Elaboración propia

3.1 Resultados Bibliométricos

Por medio de la revisión y análisis del contenido sobre el impacto de la industria 4.0 en la gestión por procesos, se obtuvo que la tecnología fue implementada de forma paulatina, además de la implicancia de situaciones críticas como la pandemia forzó a que las industrias adoptaran nuevas formas de procesos que les permita mantener su producción. Esta tendencia ha evidenciado la evolución en la adopción de estas tecnologías en los años recientes, como evidencia de este crecimiento se observa que en el 2018 solo se llevó a cabo una investigación y en el 2019 no se realizó ningún artículo referido al tema. Durante los años 2020 – 2021 se llevaron a cabo 6 artículos, 3 en cada año respectivo, afirmando la significancia del accionamiento de la tecnología y hacer frente a situaciones adversas como lo sucedido con el SARS-CoV-2. A diferencia del 2022 que fue el año con mayor productividad científica evidenciándose con la creación de 6 investigaciones. Luego, en el 2023 se determinó una cantidad de 4 estudios, dos menos a comparación del año anterior, en el 2024 solo se realizaron 5 publicaciones.

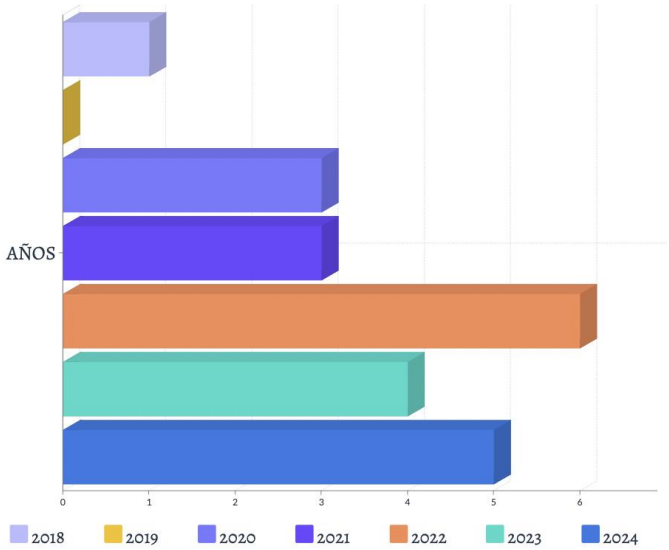

Fig. 2 Artículos según año de publicación.

A continuación, en la fig.3 se muestra los documentos más citados a nivel mundial respecto al uso de las nuevas tecnologías y métodos aplicados, siendo el artículo de Fernandes el más empleado con 16% de menciones en un total de 40 artículos, del mismo modo, con 13.6% se encuentra Seiger mediante la aplicación de sus métodos en 34 estudios, también, Erasmus y Kosma con 10.8% en un total de 27 artículos cada uno y otros documentos que representan 48.8%.

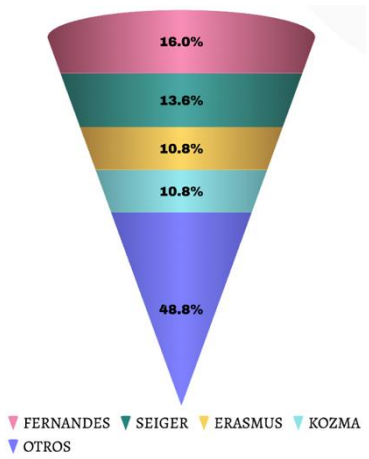

Fig. 3 Documentos más citados a nivel mundial.

La fig.4 muestra el resultado del gráfico de 3 campos, mediante la relación entre palabras clave, autores y fuentes, cabe resaltar que la relación es dependiente de izquierda a derecha, dado que en función a las palabras clave mostradas, se visualizan los autores que consideraron el uso de las mismas para definir sus conceptos y en estos últimos se observa la distribución de fuentes donde realizaron sus publicaciones. En consecuencia, las palabras claves con mayor frecuencia son industria 4.0 con una frecuencia de (n=18) pese a un flujo de salida de 14; gestión de procesos de negocio con una frecuencia de (n=8) y un flujo de salida de 8; gestión de procesos con la frecuencia de (n=6) al igual que el flujo de salida de 6. Entre los autores con mayor flujo de entrada se encuentra Traganos K, Da Costa B, Bergmann R, Erasmus J, Grefen P, Malburg L, Vanderfeesten I con (n= 4), de los cuales el primero y del al séptimo en base a la gráfica tienen un flujo de entrada 3, el segundo presenta un flujo de entrada de 4. La fuente más empleada es IEEE Transactions On Automation Science And Engineering con una frecuencia de (n=6) y un flujo de entrada de 6; consecutivamente, Applied Sciences (Switzerland) con (n=5) y Sustainability (Switzerland) (n=4), teniendo todas las revistas mencionadas anteriormente flujos de entrada igual a la cantidad de ocurrencias detectadas.

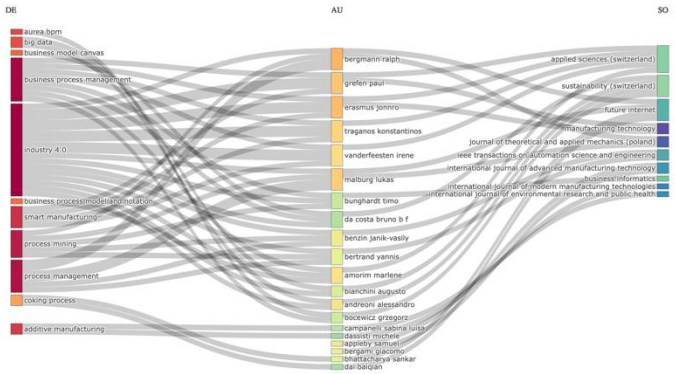

Fig. 4 Gráfico de 3 campos de los artículos.

Mediante de la estructuración y análisis del contenido sobre industria 4.0 y gestión por procesos, se observa en la figura 5, la producción científica de los artículos seleccionados, donde Alemania y Polonia tuvieron un mayor uso con una cantidad de 7 artículos cada uno. Del mismo modo, se identificaron otros países que se interesaron en el desarrollo investigativo como Reino Unido, Países Bajos, Portugal, Brasil, China, entre otros.

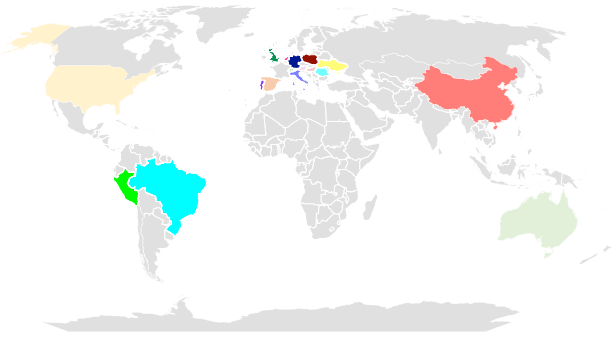
Fig. 5 Producción científica según país de origen.

Por último, se cuenta con la nube de palabras claves más empleadas entre las investigaciones seleccionadas junto a la frecuencia de su empleabilidad, de las cuales destacaron: Industria 4.0 (8), Internet de las cosas (5), gestión de procesos (5), eficiencia energética (4) gestión de recursos empresariales (4), proceso de negocio (3), entre otros.

Fig. 6 Nube de palabras claves.

3.2 RESULTADOS DE CONTENIDO

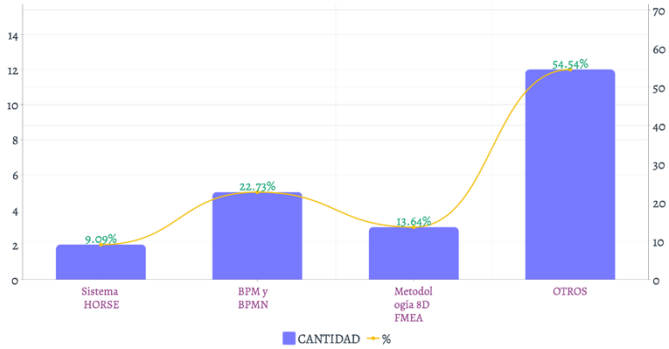

Fig. 7 Herramientas aplicadas en las empresas.

El Manufacturing Execution System (MES) es una herramienta que vincula operaciones de planta y estrategias empresariales recopilando y ejecuntando información [23], sirve como fundamento del proyecto HORSE como un sistema de planificación integrado que abarca MES, ERP (Planificación de Recursos Empresariales) y PLMS (Sistema de Gestión del Ciclo de Vida del Producto) [24] [25]. Al igual que el BPM y BPMN son herramientas que modelan procesos de negocio y satisface los requerimientos empresariales [31], como posibles formas de las secuencias de los procedimientos entre sí [30].

TABLA IV
SECTORES DONDE IMPACTO LA INDUSTRIA 4.0 EN LA GESTIÓN DE PROCESOS.

Aplicación de la Industria 4.0 en la gestión de procesos en diferentes sectores	SECTORES QUE HA INTERVENIDO I4.0		
	Sector Empresarial	Sector Producción	Sector Salud
Incremento del rendimiento.	[25]	[26] [46]	[42]
Compatibilidad de los sistemas y prácticas existentes.	[36] [40]	[27] [28] [37] [38] [43]	[42]
Detección de errores previos.	[44]	[26] [29] [32] [39]	
Obtención y procesamiento de información.	[35] [36] [40] [44] [45]	[30] [34] [39] [41]	[42]
Mejora en el tiempo de respuesta.	[45]	[31] [33] [39]	

La Industria 4.0 facilita un aumento en la rentabilidad y un rendimiento superior en comparación con las soluciones actuales de verificación, al aprovechar tecnologías avanzadas de minería de datos como fuente de información para el diagnóstico [22] [23] [39]. Además, proporciona la integración vertical desde procesos de negocio hasta agentes humanos y automatizados individuales.

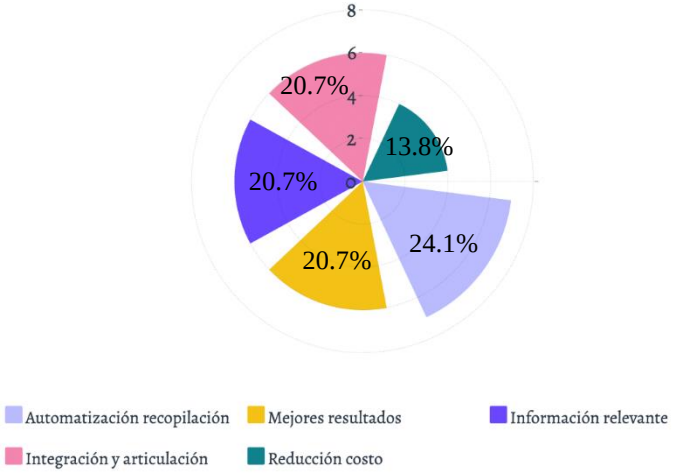

Fig. 8 Efecto de la implementación de Industria 4.0 en la eficiencia de la toma de decisiones.

En la fig. 8 se observa que la automatización de procesos de recopilación de datos corresponde un 24.1% de la eficiencia de la toma de decisiones, donde se obtuvo como resultado ahorrar esfuerzo y costos mediante un procedimiento de minería automatizado [26] [27] [32] [34]. Además, permite abstraer procesos físicos potencialmente muy complejos e implementaciones de código bajo para controlar el hardware de las máquinas de producción [35]. A diferencia del 13.8% de la reducción del costo, pues, el costo más bajo se puede lograr cuando se implementan todas las innovaciones propuestas [39], así como determinar el tiempo de inactividad entre subfases contiguas a lo largo del proceso [36]

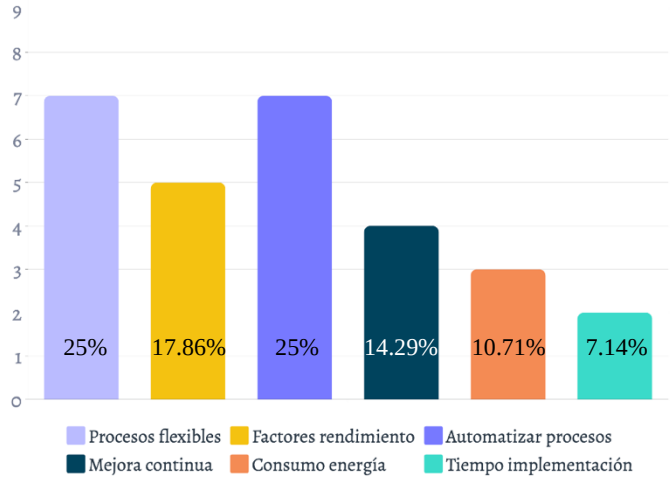

Fig. 9 Efectos observados en la optimización de procesos.

En la fig. 9 se observa que los procesos flexibles y la automatización de procesos de comunicación corresponden a un 25% cada uno, dado que, la industria 4.0 permite flexibilidad y dinámica para la formación y reconfiguración de procesos [29] y obtener una evaluación cualitativa y cuantitativa de los indicadores de riesgo, teniendo en cuenta un conjunto de factores objetivos y subjetivos de incertidumbre [36]. Por el contrario, con un 7.14% del se encuentra la reducción tiempo de implementación, pues, permite un consumo de servicio más rápido y un tiempo de implementación de extremo a extremo y más cortos [30] [41].

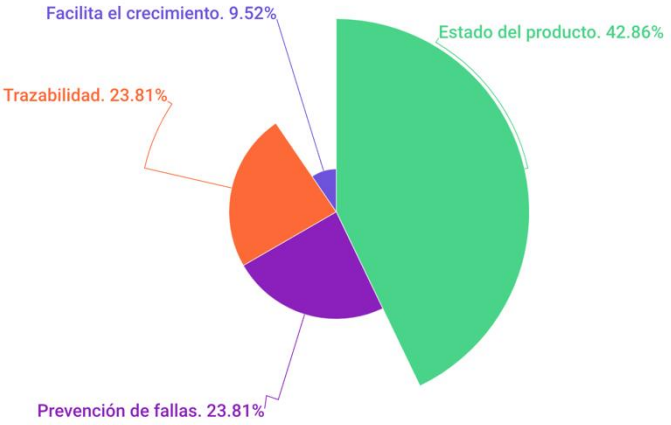

Fig. 10 Impacto en la calidad tras la implementación de tecnologías de I4.0

En la fig.10 se observa que la evaluación y aprobación del estado del producto o servicio en base a los criterios establecidos representan el 42.86% del impacto en la calidad tras la implementación de tecnologías. Esto, posibilita regenerar la calidad de los servicios ofrecidos en los destinos CRT y para el desarrollo local [32]. Además, se implementaron ejercicios de manera consciente y se monitoreo su progreso mejorando el servicio brindado [37]. Respecto a la prevención de fallas, ésta representa un 23.81%, utilizando técnicas de aprendizaje automático para predecir los perfiles de temperatura dentro del proceso de fabricación, con lo cual se permitió el entrenamiento de una serie robusta de modelos de aprendizaje automático [42]. Dentro de ellos se encuentra, la trazabilidad de ejecuciones de actividades de proceso donde no se cumplieron ciertas condiciones, los cuales representan el 23.81% de los resultados.

Las herramientas de la industria 4.0 halladas en los artículos, suponen un novedoso sistema de gestión de procesos comerciales para cálculos eficientes de verificación de conformidad realizados sobre un modelo relacional personalizado [22], convirtiéndose en instrumentos valiosos para vincular las operaciones de planta y la estrategia empresarial [23]. Dado que estas proporcionan un marco para el intercambio seguro y confiable de datos entre varios dispositivos y aplicaciones en un entorno en red [27]. Del mismo modo, permite minimizar los efectos de la ocurrencia de irregularidades [29]. Cabe resaltar que hay herramientas como las BPMN que están desarrollads para modelar procesos de negocio que satisface los requisitos a nivel empresarial pero no a nivel de producción [31].

Los artículos analizados demuestran que la implementación de la industria 4.0 integra procesos multifuncionales en la gestión empresarial y las operaciones de fabricación [24], como la asimilación de los sistemas de información empresarial tradicionales, por ejemplo, la gestión explícita de procesos y la tecnología de fabricación avanzada [25]. De este modo, permite el desarrollo de canales de datos genéricos, enfoques de minería de procesos y herramientas de visualización para registros de eventos de IoT [32]. Por ende, se detectaron los errores previamente, evitando las consecuencias que conlleva llegar al fallo total de las máquinas, como tiempos de inactividad más prolongados y, en consecuencia, a pérdidas de producción [26].

Asimismo, la I4.0 repercute en la eficiencia de la toma de decisiones porque permite diferenciar la apariencia y el alcance de los datos presentados al usuario final al gestionar las tareas [42], pues los modelos de aprendizaje automático exhibieron una alta eficiencia predictiva y concede la predicción de datos del sistema [43]. Es decir, abstrae procesos físicos potencialmente muy complejos e implementaciones de código bajo para controlar el hardware de las máquinas de producción [35]. De este modo, se obtiene una evaluación cualitativa y cuantitativa de los indicadores de riesgo, teniendo en cuenta un conjunto de factores objetivos y subjetivos de incertidumbre [37].

Por último, se analizó la implicancia de estas tecnologías en la calidad de los servicios y productos, la cual está determinada a través de la idoneidad del proceso, identificación de debilidades e introducción de medidas preventivas [29]. Los cuales, habilitan modelos de procesos flexibles para los proveedores, permitiendo reemplazar socios y reorganizar los pasos hasta que se satisfagan los requisitos de recursos [30]. Simultáneamente, mejora la calidad de la gestión de la producción, evita interrupciones de la producción y daños en las máquinas [40]. Como la trazabilidad de las ejecuciones de actividades de proceso donde no se cumplieron ciertas condiciones ambientales [35].

Las limitaciones de este estudio, está determinado en base a las condiciones ambientales en la que está sujeta la empresa, lo que genera que ciertas variables no se adapten a las nuevas tecnologías implantadas, sobre todo si se implementa en un sistema previo y no se reestructura todo el funcionamiento desde el inicio. Además, el costo de implementación supone un riesgo a las pequeñas empresas, dado que los softwares más complejos tienden a requerir de herramientas tecnológicas especializadas.

En investigaciones a futuro, sería conveniente profundizar el estudio de las variables adecuadas que permitan los mejores resultados al momento de implementar las nuevas tecnologías en las organizaciones, de este modo, se pueden reducir costos importantes y el tiempo de prueba, constantes imprescindibles para el análisis de los resultados y la rentabilidad de la empresa.

IV. Conclusión

Se realizó una revisión sistemática de literatura que presenta como propósito disponer sobre los efectos del accionamiento de la industria 4.0 en la gestión de procesos, por medio del análisis de una variedad de estudios publicados entre el 2017 y 2024. En las investigaciones evaluadas, se identificaron las herramientas más importantes como el MES, el Sistema HORSE, los BPM y BPMN, y la metodología 8D FMEA que garantizan la automatización y mejora continua de procesos dentro de empresa, el éxito de la implementación depende de los factores de análisis en cuestión, el área de mejora y el objetivo personal de cada empresa. Como, en la mayor cantidad de instituciones determinaron que la automatización en la recopilación de información es el elemento más importante en la eficiencia de la toma de decisiones. La optimización de procesos está determinada por la reducción del consumo de energía, la automatización de procesos y procesos que se adaptan a los sistemas instaurados previamente. De este modo, se incrementa la calidad mejorando el estado del producto o servicio y una mejor trazabilidad en la cadena de abastecimiento. Por ello, para trabajos futuros, se recomienda la incorporación de tecnologías versátiles que se adapten a los sistemas previos de las industrias y que supongan un menor costo de implementación, de este modo, será más accesible para las pequeñas y medianas empresas adquirir estos sistemas. Finalmente, este estudio muestra la importancia de la aplicación de la Industria 4.0 en la gestión de procesos de una empresa para lograr mejores

resultados en sus procesos, lo cual repercute significativamente en la productividad y en la eficiencia de una organización. Estos hallazgos sirven de guía a profesionales del área industrial y líderes empresariales, ofreciendo perspectivas y mejores prácticas para implementar nuevas herramientas correspondientes a la cuarta revolución industrial.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a los coordinadores de investigación de la Universidad Tecnológica del Perú Mg. Luis Julio Chauca y Dr. Heli Lázaro, así como a todo el equipo que participó en la ejecución de esta investigación.

REFERENCIAS

[1] F. M. Martínez García, «Gestión integrada del mantenimiento y la energía para la prevención de fallos en equipos de plantas de proceso», http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Murcia, 2015. Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=127101

[2] H. Duque Gómez, «Arquitecturas inteligentes para gestión de sistemas ciberfísicos en ambientes IoT», http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat d'Alacant / Universidad de Alicante, 2020. Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=298498

[3] M. V. Jacquez-Hernández y V. G. L. Torres, «Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la Industria 4.0: una revisión de literatura», n.º 20.

[4] F. Rozo-García, «Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0», *Rev. UIS Ing.*, vol. 19, n.º 2, pp. 177-191, may 2020, doi: 10.18273/revuin.v19n2-2020019.

[5] L. H. Morris Molina, L. G. Chávez Salazar, J. L. Arias Vargas, D. F. Lozano Mosquera, y D. H. Mejía Melo, «Prototipo funcional para el mejoramiento del proceso productivo en MiPymes de manufactura y su aproximación a la Industria 4.0», *Entre Cienc. E Ing.*, vol. 16, n.º 31, pp. 70-80, 2022.

[6] L. C. Ríos-Ramírez, L. Pérez-Domínguez, y I. J. C. Pérez-Olguin, «Tendencias actuales de la industria 4.0», *Reflex. Contab.*, vol. 2, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2019, doi: 10.22463/26655543.2982.

[7] J. del C. Peralta-Abarca, B. Martínez-Bahena, y J. Enríquez-Urbano, «Industria 4.0», *Inventio*, vol. 16, n.º 39, Art. n.º 39, 2020, doi: 10.30973/inventio/2020.16.39/4.

[8] M. Castillo-Vergara, «Industria 4.0 en la Pyme: Management & Technology Número Especial», *J. Technol. Manag. Amp Innov.*, vol. 19, n.º 1, pp. 3-5, 2024, doi: 10.4067/S0718-27242024000100003.

[9] A. M. Pangol Lascano, «Industria 4.0, implicaciones, certezas y dudas en el mundo laboral», *Rev. Univ. Soc.*, vol. 14, n.º 4, pp. 453-465, ago. 2022.

[10] J. R. Yébenes Serrano, «Marco para la construcción de sistemas de gobernanza de datos en entornos de industria 4.0», http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Cantabria, 2022. Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=332547

[11] M. Navarro y X. Sabalza, «Reflexiones sobre la industria 4.0 desde el caso vasco», *Ekon. Rev. Vasca Econ.*, n.º 89, pp. 142-173, 2016.

[12] C. B. Y. Cortés, J. M. I. Landeta, y J. G. B. Chacón, «El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras», 2017.

[13] L. Sánchez y B. Blanco, «La Gestión por Procesos. Un campo por explorar», *Dir. Organ.*, pp. 54-71, 2014, doi: 10.37610/dyo.v0i54.460.

[14] D. Ruiz-Fuentes, R. M. Almaguer-Torres, I. C. Torres-Torres, y A. M. Hernández-Peña, «La gestión por procesos, su surgimiento y aspectos teóricos», *Cienc. Holguín*, vol. XX, n.º 1, pp. 1-11, 2014.

[15] J. R. Zaratiegui, «Los procesos son posiblemente el elemento más importante y más exten- dido en la gestión de las empresas innovadoras, especialmente de las que basan su sistema de gestión en la Calidad Total. Este interés por», *Econ. Ind.*, 1999.

[16] G. C. Tejada Estrada, J. M. Cruz Montero, Y. C. Uribe Hernandez, y J. J. Rios Herrera, «Innovación tecnológica: Reflexiones teóricas», *Rev. Venez. Gerenc.*, vol. 24, n.º 85, p. 199, jun. 2019, doi: 10.31876/revista.v24i85.24453.

[17] I. A. García Pacheco, «Metamodelo para la definición, implantación y mejora de los procesos de gestión de proyectos», http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Politécnica de Madrid, 2013. Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=83700

[18] G. S. Miñan-Olivos, J. A. Estrada-Espinoza, A. A. Cruz-Aguilar, J. A. Moreno-Ramos, y C. B. Cisneros-Hilario, «Business intelligence as a competitive advantage in organizations: A systematic review of the literature between 2012-2022.», en *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023. doi: 10.18687/LACCEI2023.1.1.758.

[19] M. J. Page *et al.*, «Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas», *Rev. Esp. Cardiol.*, vol. 74, n.º 9, pp. 790-799, sep. 2021, doi: 10.1016/j.recesp.2021.06.016.

[20] E. Linares-Espinós *et al.*, «Metodología de una revisión sistemática», *Actas Urol. Esp.*, vol. 42, n.º 8, pp. 499-506, oct. 2018, doi: 10.1016/j.acuro.2018.01.010.

[21] S. E. Kelly, D. Moher, y T. J. Clifford, «Quality of conduct and reporting in rapid reviews: an exploration of compliance with PRISMA and AMSTAR guidelines», *Syst. Rev.*, vol. 5, n.º 1, p. 79, may 2016, doi: 10.1186/s13643-016-0258-9.

[22] G. Bergami, S. Appleby, y G. Morgan, «Quickening Data-Aware Conformance Checking through Temporal Algebras †», *Inf. Switz.*, vol. 14, n.º 3, 2023, doi: 10.3390/info14030173.

[23] A. Bianchini, I. Savini, A. Andreoni, M. Morolli, y V. Solfrini, «Manufacturing Execution System Application within Manufacturing Small–Medium Enterprises towards Key Performance Indicators Development and Their Implementation in the Production Line», *Sustain. Switz.*, vol. 16, n.º 7, 2024, doi: 10.3390/su16072974.

[24] J. Erasmus, I. Vanderfeesten, K. Traganos, R. Keulen, y P. Grefen, «The HORSE project: The application of business process management for flexibility in smart manufacturing», *Appl. Sci. Switz.*, vol. 10, n.º 12, 2020, doi: 10.3390/APP10124145.

[25] J. Erasmus, P. Grefen, I. Vanderfeesten, y K. Traganos, «Smart hybrid manufacturing control using cloud computing and the internet-of-things», *Machines*, vol. 6, n.º 4, 2018, doi: 10.3390/MACHINES6040062.

[26] J. Fernandes, J. Reis, N. Melão, L. Teixeira, y M. Amorim, «The role of industry 4.0 and bpmn in the arise of condition-based and predictive maintenance: a case study in the automotive industry», *Appl. Sci. Switz.*, vol. 11, n.º 8, 2021, doi: 10.3390/app11083438.

[27] M. Hornsteiner, P. Empl, T. Bunghardt, y S. Schönig, «Reading between the Lines: Process Mining on OPC UA Network Data», *Sensors*, vol. 24, n.º 14, 2024, doi: 10.3390/s24144497.

[28] N. Ionescu, L. M. Ionescu, N. Rachieru, y A. G. Mazare, «A MODEL FOR MONITORING OF THE 8D AND FMEA TOOLS INTERDEPENDENCE IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0», *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, vol. 14, n.º 3, pp. 86-91, 2022, doi: 10.54684/ijmmt.2022.14.3.86.

[29] K. Kapustka, G. Ziegmann, D. Klimecka-Tatar, y S. Nakonczy, «Process Management and Technological Challenges in the Aspect of Permanent Magnets Recovery - the Second Life of Neodymium Magnets», *Manuf. Technol.*, vol. 20, n.º 5, pp. 617-624, 2020, doi: 10.21062/MFT.2020.098.

[30] N. Kazantsev, M. DeBellis, Q. Quboa, P. Sampaio, N. Mehandjiev, y I. D. Stalker, «An ontology-guided approach to process formation and coordination of demand-driven collaborations», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 62, n.º 9, pp. 3398-3414, 2024, doi: 10.1080/00207543.2023.2242508.

[31] D. Kozma, P. Varga, y F. Larrinaga, «Dynamic Multilevel Workflow Management Concept for Industrial IoT Systems», *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 18, n.º 3, pp. 1354-1366, 2021, doi: 10.1109/TASE.2020.3004313.

[32] J. Mangler *et al.*, «DataStream XES Extension: Embedding IoT Sensor Data into Extensible Event Stream Logs», *Future Internet*, vol. 15, n.º 3, 2023, doi: 10.3390/fi15030109.

[33] G. Maquera, B. B. F. da Costa, Ó. Mendoza, R. A. Salinas, y A. N. Haddad, «Intelligent Digital Platform for Community-Based Rural Tourism—A Novel Concept Development in Peru», *Sustain. Switz.*, vol. 14, n.º 13, 2022, doi: 10.3390/su14137907.

[34] I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, y I. Filippenko, «DEVELOPMENT OF AN ARCHITECTURALLOGICAL MODEL TO AUTOMATE THE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF CREATING COMPLEX CYBERPHYSICAL INDUSTRIAL SYSTEMS», *East.-Eur. J. Enterp. Technol.*, vol. 4, n.º 3-106, pp. 44-52, 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.210761.

[35] R. Seiger, L. Malburg, B. Weber, y R. Bergmann, «Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases», *J. Manuf. Syst.*, vol. 63, pp. 575-592, 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.05.012.

[36] V. Selicati, M. Mazzarisi, F. S. Lovecchio, M. G. Guerra, S. L. Campanelli, y M. Dassisti, «A monitoring framework based on exergetic analysis for sustainability assessment of direct laser metal deposition process», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 118, n.º 11-12, pp. 3641-3656, 2022, doi: 10.1007/s00170-021-08177-x.

[37] P. Shepita, L. Tupychak, y J. Shepita, «Analysis of Cyber Security Threats of the Printing Enterprise», *J. Cyber Secur. Mobil.*, vol. 12, n.º 3, pp. 415-434, 2023, doi: 10.13052/jcsm2245-1439.123.8.

[38] L. C. Souza, E. R. Neto, E. S. Lima, y A. C. S. Junior, «Optically-powered wireless sensor nodes towards industrial internet of things», *Sensors*, vol. 22, n.º 1, 2022, doi: 10.3390/s22010057.

[39] E. Stawiarska y M. Stawiarski, «Assessment of Patient Treatment and Rehabilitation Processes Using Electromyography Signals and Selected Industry 4.0 Solutions», *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 20, n.º 4, 2023, doi: 10.3390/ijerph20043754.

[40] S. Temich, A. Pollak, J. Kucharczyk, W. Ptasiński, A. Męzyk, y D. Gąsiorek, «Prediction of energy consumption in the industry 4.0 platform - Solutions overview», *J. Theor. Appl. Mech. Pol.*, vol. 59, n.º 3, pp. 455-468, 2021, doi: 10.15632/jtam-pl/140203.

[41] A. Yu. Varnukhov, «Hidden Markov model: Method for building a business process model», *Bus. Inform.*, vol. 18, n.º 3, pp. 41-55, 2024, doi: 10.17323/2587-814X.2024.3.41.55.

[42] R. Waszkowski y G. Bocewicz, «Visibility Matrix: Efficient User Interface Modelling for Low-Code Development Platforms», *Sustain. Switz.*, vol. 14, n.º 13, 2022, doi: 10.3390/su14138103.

[43] P. Zhao *et al.*, «A machine learning and CFD modeling hybrid approach for predicting real-time heat transfer during cokemaking processes», *Fuel*, vol. 373, 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2024.132273.