



Universidad de Valladolid



Escuela de Ingenierías Industriales



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria.

Autor:

(ANDREA MICHELLE AMADOR MATUTE)

Tutor:

(ÁNGEL GENTO MUNICIO)

(SEPTIEMBRE 2024)



Dedicatoria a mi familia y amigos, quienes me motivaron a cursar este máster.

Resumen

En la actualidad, la sociedad no solo espera que las industrias impulsen el desarrollo tecnológico, sino que también exige un compromiso más fuerte con la protección ambiental y la mejora de las condiciones laborales. Esta demanda ha impulsado la aparición de nuevos enfoques industriales que equilibran la innovación con la sostenibilidad y la responsabilidad social. Así, conceptos como Sociedad 5.0 e Industria 5.0 han dado paso al concepto de Logística 5.0, que no solo busca optimizar los procesos logísticos a través de tecnologías avanzadas, sino también hacerlo de manera consciente y sostenible.

En este documento, se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura publicada entre 2016 y 2024, utilizando las bases de datos Scopus y Web of Science. A través de la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, y la metodología Prisma 2020 se busca identificar las principales tendencias en la adopción de la Logística 5.0 dentro de la industria, donde se destacan las fábricas inteligentes, integración hombre máquina, transporte 5.0, sostenibilidad, entrenamiento y salud. así como los retos que conlleva su implementación. Entre los desafíos identificados resaltan la sinergia entre los sistemas hombre-máquina, el costo de inversión en tecnología, las implicaciones jurídicas, seguridad de la información y mano de obra calificada.

Palabras clave: Logística 5.0, Industria 5.0, Tendencias, Desafíos, Fábricas Inteligentes, Integración hombre-máquina, Transporte 5.0, Entrenamiento, Salud.



Abstract

Today, society not only expects industries to drive technological development, but also demands a stronger commitment to environmental protection and improved working conditions. This demand has prompted the emergence of new industrial approaches that balance innovation with sustainability and social responsibility. Thus, concepts such as Society 5.0 and Industry 5.0 have given way to the concept of Logistics 5.0, which not only seeks to optimize logistics processes through advanced technologies, but also to do so in a conscious and sustainable manner.

In this paper, a comprehensive review of the literature published between 2016 and 2024 is conducted, using the Scopus and Web of Science databases. Through the application of inclusion and exclusion criteria and the Prisma 2020 methodology, we seek to identify the main trends in the adoption of Logistics 5.0 within the industry, highlighting smart factories, human-machine integration, transport 5.0, sustainability, training, and health, as well as the challenges involved in its implementation. Among the challenges identified are the synergy between human-machine systems, the cost of investment in technology, legal implications, information security and skilled labor.

Keywords: Logistics 5.0, Industry 5.0, Trends, Challenges, Smart Factories, Human-Machine integration, Transport 5.0, Training, Health.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento al programa STEM WOMEN UVA-SANTANDER IBEROAMÉRICA+ASIA y a la Universidad de Valladolid por creer en mi potencial y darme la oportunidad de cursar este Máster en la Universidad de Valladolid, estoy segura de que esta experiencia me abrirá la puerta a nuevas oportunidades académicas y profesionales que impactaran positivamente mi trayectoria profesional, y me permitirá contribuir con el desarrollo de mi país Honduras.

A mi tutor y coordinador de máster, Ángel Gento, por el apoyo y asesoría brindada a lo largo del máster en logística, agradezco el apoyo brindado a cada uno de los compañeros extranjeros para poder adaptarnos a un nuevo país desde el momento en que fuimos admitidos en el máster.

También quiero agradecer a cada uno de los profesores del Máster en Logística de la Universidad de Valladolid por las enseñanzas impartidas y experiencias compartidas.

A mis compañeros del Máster en Logística, agradezco su amistad y el apoyo brindados dentro y fuera del salón de clases.



Índice

Resumen	ii
Abstract	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de Figuras	ix
Índice de Tablas	xii
Abreviaturas	xv
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. <i>Antecedentes</i>	1
1.2. <i>Motivación</i>	4
1.3. <i>Objetivos y Alcance</i>	5
1.4. <i>Estructura del documento</i>	6
Capítulo 2. Logística 5.0-Análisis de Literatura	7
2.1. <i>Metodología</i>	7
2.1.1. Criterios de elegibilidad	8
2.1.2. Selección de estudios.....	10
2.1.3. Características de los estudios.....	10
2.1.4. Sesgos	11
2.2. <i>Tendencias</i>	12
Capítulo 3. Tendencia 1: Fábricas Inteligentes	16
3.1. <i>Gemelos Digitales</i>	20

Índice

3.2. <i>Inteligencia Artificial</i>	25
3.3. <i>Realidad Aumentada</i>	27
3.4. <i>BlockChain</i>	31
3.5. <i>Almacén 5.0</i>	33
Capítulo 4. Tendencia 2: Integración Hombre-Maquina	37
4.1. <i>Fabricación centrada en las personas</i>	40
4.2. <i>Colaboración humano-robot</i>	42
4.3. <i>Sistemas hombre-máquina</i>	45
4.4. <i>Asistentes digitales</i>	47
4.5. <i>Exoesqueletos</i>	48
4.6. <i>RHYTHMS</i>	49
Capítulo 5. Tendencia 3: Transporte 5.0	52
5.1. <i>Transporte Inteligente</i>	54
5.2. <i>Movilidad 5.0</i>	56
5.3. <i>Transporte Marítimo</i>	58
Capítulo 6. Tendencia 4: Sostenibilidad	61
6.1. <i>Economía Verde</i>	62
6.2. <i>Logística Inversa</i>	63
6.3. <i>Cadena de suministro verde</i>	64
6.4. <i>Fabricación Sostenible</i>	66
6.5. <i>Reducción de emisiones</i>	66
Capítulo 7. Tendencia 5: Entrenamiento	68
Capítulo 8. Tendencia 6: Salud	72
Capítulo 9. Desafíos	76
9.1. <i>Sinergia en los sistemas hombre-máquina</i>	76
9.2. <i>Costo de inversión en tecnología</i>	77
9.3. <i>Implicaciones jurídicas</i>	79



9.4. Seguridad de la Información.....	80
9.5. Mano de Obra calificada.....	82
Capítulo 10. Estudio Económico	83
10.1. Introducción.....	83
10.2. Profesionales que intervienen en el proyecto.....	83
10.3. Fases del proyecto	84
10.4. Estudio económico	85
10.5. Costes asignados a cada fase del proyecto	87
Conclusiones y líneas futuras.....	89
10.6. Conclusiones.....	89
10.7. Líneas futuras.....	92
10.7.1. Logística 5.0 en América	92
10.7.2. Realidad Extendida en los procesos de formación de los estudiantes de ingeniería y operadores en el sector industrial de Honduras.....	93
Referencias.....	94



Índice de Figuras

Figura 1.1 Red Bibliográfica sobre I 4.0 (Fuente: Elaboración Propia).....	2
Figura 1.2 Red Bibliográfica sobre I 5.0 (Fuente: Elaboración Propia).....	3
Figura 1.3 Red Bibliográfica sobre logística 5.0 (Fuente: Elaboración Propia)	5
Figura 2.1 Etapas de la revisión sistemática basada en declaración prisma 2020 (Fuente: Elaboración propia).....	8
Figura 2.2 Diagrama Prisma de revisión bibliográfica (Fuente: Elaboración propia)	9
Figura 2.3 Extracto de hoja de trabajo para análisis de artículos	10
Figura 2.4 Recuento de artículos seleccionados por año (Fuente: Elaboración propia)	12
Figura 2.5 Mapa de Investigaciones de logística 5.0 por país (Fuente: Elaboración propia)	13
Figura 2.6 Tendencias en el estudio de la Logística 5.0	15
Figura 3.1 Ilustración de Fabrica Inteligente de Schneider electric en Indonesia (Schneider electric, 2024).....	16
Figura 3.2 Investigador controlando un robot utilizando tecnología 5G en fábrica Inteligente (ETRI,2024)	17
Figura 3.3 Mapa de Estudios de Fabricas inteligentes por región.....	18
Figura 3.4 Publicaciones de Fabricas inteligentes por país (Fuente: Elaboración Propia).....	19
Figura 3.5 Categorías en los estudios sobre Fabricas inteligentes (Fuente: Elaboración Propia).....	20
Figura 3.6 Distribución geográfica de los estudios sobre gemelos digitales	22
Figura 3.7 Área de clasificación de los paquetes (Qu et al.,2024)	24
Figura 3.8 Construcción del modelo digital del sistema de clasificación (Qu et al.,2024)	25

Índice de Figuras

Figura 3.9 Uso de realidad aumentada con la tecnología Holo lens 2 (Audi Media Center,2020)	27
Figura 3.10 Casos exitosos en la implementación de la realidad aumentada (Tsang et al.,2022)	29
Figura 3.11 Explicación de la tecnología de Vision Picking implementada por DHL (DHL,2015).....	30
Figura 3.12 Aplicación de la RA para el monitoreo de consumo de energía en una planta (Chu & Pan 2024).....	31
Figura 3.13 Modelo de contrato inteligente en hospital (Rupa et al.,2021)	33
Figura 3.14 Ejemplo de almacén inteligente (Transition technologies,2020)	34
Figura 3.15 Ejemplos de drones utilizados para el control de inventarios en almacenes (Elaboración Propia)	35
Figura 4.1 Distribución geográfica de los estudios sobre Integración Hombre Máquina	39
Figura 4.2 Aplicaciones de la Integración Hombre Máquina	40
Figura 4.3 Escenarios de colaboración con cobots (García et al.,2023)	43
Figura 4.4 Cobot en operación de envasado al vacío (Interempresas,2020)	44
Figura 4.5 Modelo del sistema asistente multimodal (Böroid et al.,2023)	46
Figura 4.6 Ilustración de exoesqueleto para manipulación de cargas (Iberdrola,2024)	48
Figura 4.7 Montaje de dispositivo de realidad aumentada y exoesqueleto (Kong et al.,2023)	49
Figura 4.8 Prototipo experimental para análisis de desempeño del sistema RHYTHMS (Ling et al,2024).....	50
Figura 5.1 Mapa de publicaciones sobre transporte 5.0.....	54
Figura 5.2 Diagrama de funcionamiento de vehículos conectados (Mazur, 2020) .	55
Figura 5.3 Vehículos eléctricos de DHL para logística de última milla (DHL,2023)	57
Figura 5.4 Reparto en bicicleta eléctrica (URB-it,2022)	58
Figura 5.5 Carguero no tripulado de CSIC (CSIC,2017)	59



Figura 5.6 Prototipo de Buque autónomo propuesto por el proyecto MUNIN (Rolls Royce,2014).....	60
Figura 6.1 Aplicaciones en el estudio de la Sostenibilidad.....	61
Figura 6.2 Estación de carga de baterías para camiones (China daily,2024)	63
Figura 6.3 Punto de recogida de Happy Returns (Happy Returns,2022)	64
Figura 6.4 Ejemplo de código QR de Evigence (Evigence,2023).....	65
Figura 7.1 Ejemplo de fábrica de aprendizaje (Virginia Tech,2023).....	71
Figura 8.1 Mapa de estudios de logística 5.0 por país en el sector salud.	72
Figura 8.2 Tu Delft drone ambulancia	74
Figura 8.3 Drone Apian utilizado en prueba piloto.....	75
Figura 10.1 Calendarización de fases de implementación del proyecto (Elaboración Propia).....	84
Figura 10.2 Horas dedicadas al proyecto por miembro del equipo (Elaboración Propia).....	87
Figura 10.3 Programa de capacitación del centro de innovación en realidad extendida (UNAH,2021)	93

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Análisis de sesgos de la investigación (Fuente: Elaboración propia)	11
Tabla 2.2. Ranking de investigaciones de logística 5.0 por país (Fuente: Elaboración Propia).....	13
Tabla 3.1 Estado de la investigación sobre sistemas de aplicación de Gemelos Digitales (Fuente: Yao et al. 2023)	21
Tabla 3.2 Aplicaciones de la Blockchain en la logística inteligente (Fuente: Issaoui et al.,2019)	32
Tabla 4.1 Innovaciones tecnológicas que ayudan a la Integración Hombre Máquina (IHM) (Fuente: Cohen ,2024)	37
Tabla 4.2 Modos de interacción en sistemas orientados a humanos en la logística 5.0 (Fuente: Li et al.,2023)	42
Tabla 4.3 Aplicaciones de los Asistentes Digitales en la logística 5.0 (Fuente: Zheng et al.,2024)	47
Tabla 5.1 Tecnologías que hacen posible el Transporte 5.0 (Fuente: Ma et al.,2023)	52
Tabla 7.1 Habilidades requeridas por profesionales de la Ingeniería en la Industria 5.0 (Fuente: Pacher et al.,2023).....	69
Tabla 7.2 Habilidades adquiridas a través de las fábricas de aprendizaje (Fuente: Lagorio et al.,2023)	70
Tabla 8.1 Aplicaciones de drones en el campo de la salud (Fuente: Sabuncu & Bilgehan,2024)	74
Tabla 9.1 Costo de implementación de Realidad Aumentada por función (Technology Ally,2024).....	78
Tabla 9.2 Costo de adquisición de un exoesqueleto de acuerdo con el tipo de esfuerzo y estructura (ABI Research,2023).....	79
Tabla 9.3 Aspectos de ciberseguridad a considerar en la implementación de la I5.0 (Fuente: Kour et al. ,2024)	80
Tabla 9.4 Ejemplos de ciberataques en empresas de manufactura del sector automotriz (Otorio,2024)	81



Tabla 10.1 Horas efectivas anuales y tasas horarias del personal (Elaboración Propia).....	85
Tabla 10.2 Costes del equipo de proyecto en euros (Elaboración Propia).....	86
Tabla 10.3 Costo de equipo y software (Elaboración Propia)	86
Tabla 10.4 Material consumible para el proyecto (Elaboración Propia)	87
Tabla 10.5 Costes indirectos del proyecto (Elaboración Propia)	87
Tabla 10.6 Tabla de costos del proyecto por fase (Elaboración Propia)	88
Tabla 10.7 Desglose de costos totales del proyecto de investigación.....	88

Índice de Tablas



Abreviaturas

AD: Asistente Digital

DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

EII: Escuela de Ingenierías Industriales

EPI: Equipo de protección individual

FOT: Fábrica de las cosas

FWA: Acceso Inalámbrico fijo

I4.0: Industria 4.0

I5.0: Industria 5.0

HOOS: Sistemas operativos orientados a humanos

IA: Inteligencia Artificial

IHM: Integración hombre-máquina

IOT: Internet de las cosas

IP: Inteligencia paralela

IVR: Agente de respuesta de voz interactiva

ML: Machine Learning

ODS: Objetivo de Desarrollo Sostenible

PLN: Procesamiento de lenguaje natural

RA: Realidad Aumentada

RPA: Automatización robotizada de procesos

RX: Realidad Extendida

SKU: Unidades de mantenimiento de existencias

TME: Trastornos musculoesqueléticos

Abreviaturas

VE: Vehículos eléctricos

VR: Realidad Virtual



Capítulo 1. Introducción

1.1. Antecedentes

Desde la aparición del concepto de industria 4.0 en el año 2011 en Alemania (Pfeiffer, 2017), la industria ha sufrido una transformación importante. El auge de la industria 4.0 ha supuesto la implementación de tecnología para el desarrollo de nuevos productos, control de calidad, gestión de la cadena de suministro.

Expertos han estudiado el impacto de la industria 4.0 a través de revisiones de literatura, donde se determinó que las tendencias estaban enfocadas en el desempeño organizacional, la sostenibilidad de los negocios, organizaciones verdes, pequeñas y medianas empresas, Innovación en procesos, productos y servicios y por último la implementación de tecnología (Sorto-Bueso et al., 2023); sin embargo su implementación exitosa requiere de una transformación en la cultura organizacional.

En el año 2013 se realizó una encuesta a expertos de la industria, donde se advertía que la implementación de chips y sensores significaría una transformación en los procesos productivos (Spath et al., 2013); sin embargo, aunque la automatización es posible incluso en procesos pequeños, la mano de obra humana seguiría siendo una parte importante de la producción y se debe asegurar de contar con mano de obra calificada para las actividades que no pueden ser predichas a través del uso de tecnología.

A pesar de que los avances tecnológicos están impulsando a las empresas a apostar por automatización, el uso de Big Data y modelos predictivos (Hofmann et al., 2019), los expertos aseguran que no se debe hacer a un lado la importancia del factor humano en la era digital, y que es necesario que los altos mandos y trabajadores de la cadena de suministro tengan las competencias y preparación requerida para trabajar en conjunto con los sistemas y maquinaria (Klumpp & Zijm, 2019).

En la implementación de la industria 4.0 se han planteado dos escenarios sobre el futuro del capital humano dentro de las operaciones industriales (Pinzone et al., 2020):



Introducción

importancia de los factores ambientales y los aspectos sociales de la digitalización en los procesos productivos, contribuyendo de esta forma al enfoque del papel de los trabajadores en la industria (European Union, 2021)

Al hacer un comparativo con los resultados de la red bibliométrica utilizando el termino Industria 5.0; se observan que los temas relacionados con la sociedad 5.0, sostenibilidad, Smart manufacturing, blockchain y ciberseguridad siguen teniendo gran relevancia, y empieza a tomar relevancia los temas relacionados con los factores humanos, experiencia de los usuarios, colaboración entre hombre y maquina y los operadores 4.0, tal y como se observa en la Figura 1.2.

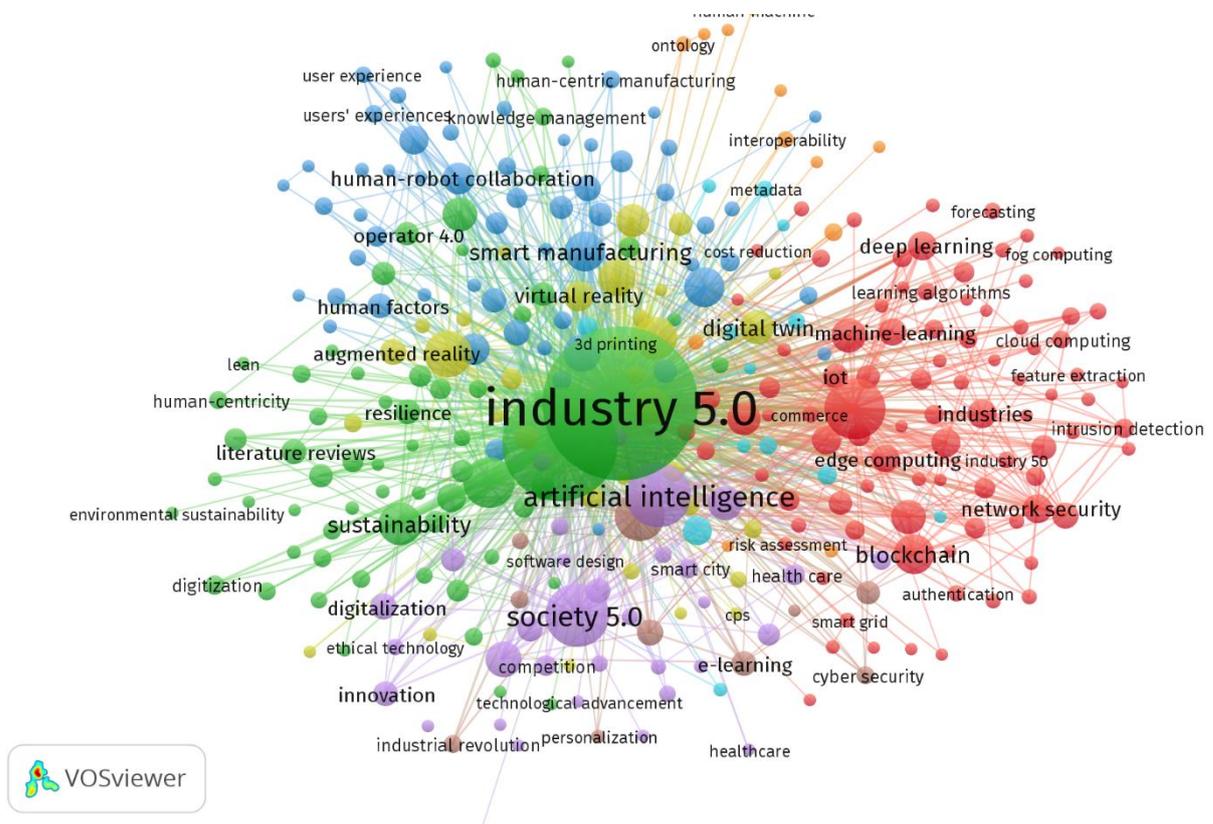


Figura 1.2 Red Bibliográfica sobre I 5.0 (Fuente: Elaboración Propia)

Estos resultados coinciden con la premisa de que en la I5.0 la mano de obra deja de ser un costo para los accionistas, y empieza a considerarse una inversión; la tecnología se utiliza como una herramienta para mejorar las habilidades de los empleados; y debe adaptarse a ellos, apostando por la llamada colaboración del hombre-maquina (European Union, 2021).

1.2. Motivación

A través del Máster en Logística he tenido la oportunidad de conocer como las empresas están utilizando las tecnologías para mejorar la eficiencia de sus cadenas de suministro, y como se apunta a la implementación de la I.40 como ventaja competitiva; de igual forma las empresas muestran su preocupación por utilizar materiales y tecnologías que contribuyan a reducir las emisiones de las huellas de carbono y asegurar procesos sostenibles, sin embargo considero que es necesario analizar la importancia de replantearse la forma en que los empleados deben adaptarse al uso de estas nuevas tecnologías, de forma estos no sientan miedo de ser reemplazados por la automatización, sino que la tecnología sea una herramienta de colaboración en sus labores, dando paso a la logística 5.0.

A la fecha de este estudio se encontraron únicamente 39 publicaciones relacionadas con el concepto de Logística 5.0; considerando que Japón y los países miembros de la Unión Europea han establecido que para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible 2030 es necesario realizar un cambio de paradigma, ya que han identificado que no es suficiente enfocarse únicamente a la implementación de la I4.0, debido a que esta carece de medidas orientadas al contexto de la crisis medioambiental y tensiones sociales que afectan a la sociedad actual (European Union, 2022). Al analizar la red bibliográfica de la Logística 5.0 se puede observar que los expertos empiezan a estudiar la relación de la logística con la sostenibilidad, factores humanos y la I5.0, tal y como se muestra en la Figura 1.3.



Introducción

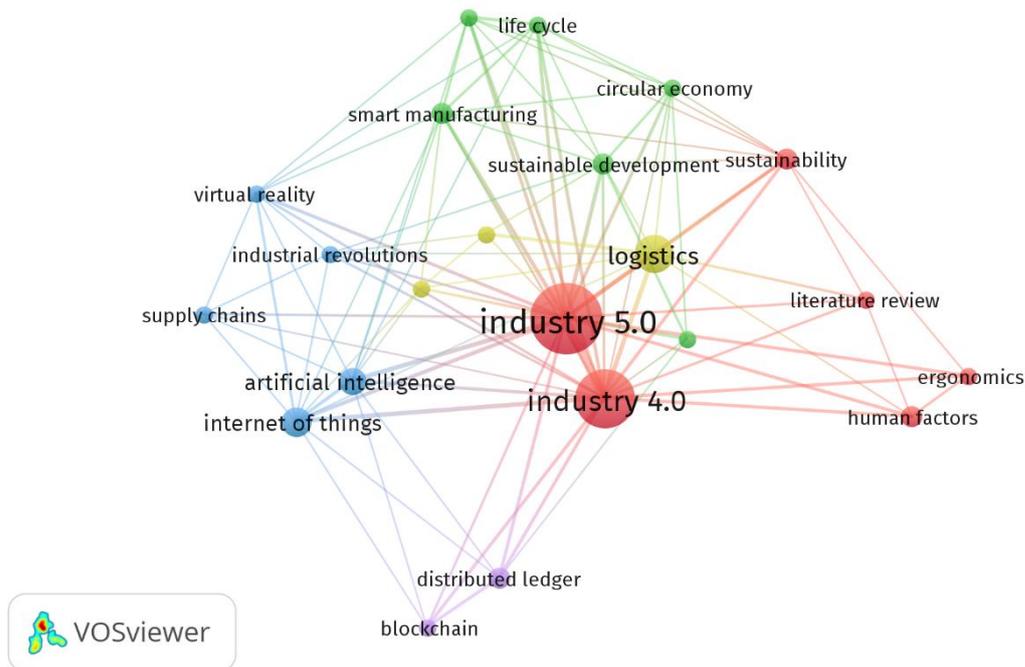


Figura 1.3 Red Bibliográfica sobre logística 5.0 (Fuente: Elaboración Propia)

Considerando que la logística desempeña un rol crucial en el desempeño de las empresas manufactureras, ya que al ejecutarse de forma integral interviene en la planificación, ejecución y control, tanto del flujo de materiales, inventarios, trabajo en proceso, productos terminados, información y servicios, con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente, es necesario empezar a analizar cómo se puede implementar las premisas de la I.50 y Sociedad 5.0 en el diseño de las operaciones logísticas, de forma que se pueda contribuir al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la innovación en la industria (ODS 9), producción y consumo responsable (ODS 12) y trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8).

1.3. Objetivos y Alcance

Para el desarrollo de este documento se han planteados dos preguntas de investigación, las cuales servirán como guía para orientar los objetivos y alcance de este trabajo de fin de Máster.

P1: ¿Cuáles son las tendencias en la implementación de la logística 5.0?

P2: ¿A que desafíos se enfrentan las empresas para implementar la logística 5.0?

Para dar respuesta a las preguntas de investigación se plantea como objetivo:

1. Identificar las tendencias de la implementación de la Logística 5.0 en la industria.
2. Identificar los desafíos de la implementación de la Logística 5.0 en la industria.

Para cumplir estos objetivos se realizará una revisión de la literatura, utilizando herramientas de análisis bibliométrico, con el objetivo de establecer cuáles son las tendencias y dificultades identificadas por los investigadores en el periodo del 2016 al 2023.

La información será obtenida de bases de datos especializadas como Scopus, Taylor & Francis, MIT Space, WOS, limitado a artículos de revistas científicas y conferencias; publicadas en inglés y español.

1.4. Estructura del documento

El presente documento se encuentra estructurado en 10 capítulos; En el primer capítulo se presenta el estado del arte sobre la Industria 5.0, su evolución, componentes hasta definir el concepto de logística 5.0.

El segundo capítulo consiste en un análisis de la literatura, donde se identifican las tendencias en la investigación de la logística 5.0; el proceso de la revisión de la literatura se presenta mediante un diagrama Prisma, con los pasos seguidos para la depuración de la información.

En los siguientes siete capítulos se desarrollan las tendencias y desafíos identificados a través de la aplicación de la metodología Prisma y revisión bibliográfica, por medio de ilustraciones de los estudios, clasificados por región y descripción en orden cronológico de los proyectos que están siendo implementados en el entorno empresarial en el ámbito de la logística en el contexto de la industria 5.0

En el tercer capítulo se habla sobre la primera tendencia identificada en el estudio de la logística 5.0, como ser las fábricas inteligentes; y explicando en orden cronológico los estudios más relevantes en este campo, y que fueron identificados a través de la revisión bibliográfica. El capítulo cuatro se enfoca en la integración hombre-maquina, que corresponde a la segunda tendencia identificada.

En el capítulo seis se habla sobre la tercera tendencia identificada, el transporte 5.0; continuando posteriormente con la sostenibilidad y su impacto en la logística 5.0 que corresponden a la cuarta tendencia; el siguiente capítulo habla sobre el entrenamiento como la quinta tendencia; para dar lugar a los capítulos 8 y 9, que corresponden a las tendencias de Salud y los desafíos identificados.

Finalmente, se concluye con el décimo capítulo; donde se presenta el estudio económico sobre el costo de esta investigación; acompañado de las conclusiones, investigaciones futuras, y las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo de este documento.



Capítulo 2. Logística 5.0-Análisis de Literatura

2.1. Metodología

Para contestar las preguntas de investigación propuestas en el capítulo 1, se realizó una revisión sistemática de la literatura, utilizando como palabras clave logística 5.0.

La revisión sistemática, consiste en la síntesis de la evidencia disponible, con el objetivo de resumir la información existente de un tema en específico; y permite actualizar al lector sobre la literatura actual y de esta forma poder sugerir áreas de investigación futura.(Carrera-Rivera et al., 2022).

La metodología utilizada para el análisis de literatura está basada en la declaración PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas; esta declaración fue publicada por primera vez en el año 2009, con el objetivo de proporcionar una guía para documentar de forma transparente el proceso de la revisión de literatura, como lo hicieron y cuáles fueron los resultados obtenidos (Yepes-Nuñez et al., 2021), y cuya finalidad era motivar a los autores a proporcionar toda aquella información que fuera esencial para interpretar y utilizar adecuadamente los resultados obtenidos.

Esta declaración consiste en un listado de los elementos de notificación preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA) por sus siglas en inglés; la cual fue actualizada en el año 2020 debido a los avances en las metodologías y terminologías utilizadas en las revisiones de literatura; y a pesar de que en un principio fue diseñado para estudios de carácter sanitario, hoy en día se ha extendido su aplicación a diversas disciplinas, incluyendo la ingeniería.(Yepes-Nuñez et al., 2021)

Para efectos de este documento, se diseñó un diagrama de flujo del proceso de revisión sistemática de la logística 5.0, utilizando como referencia la lista de verificación de 27 ítems publicada en la declaración PRISMA 2020, los cuales se pueden observar en la figura 2.1.

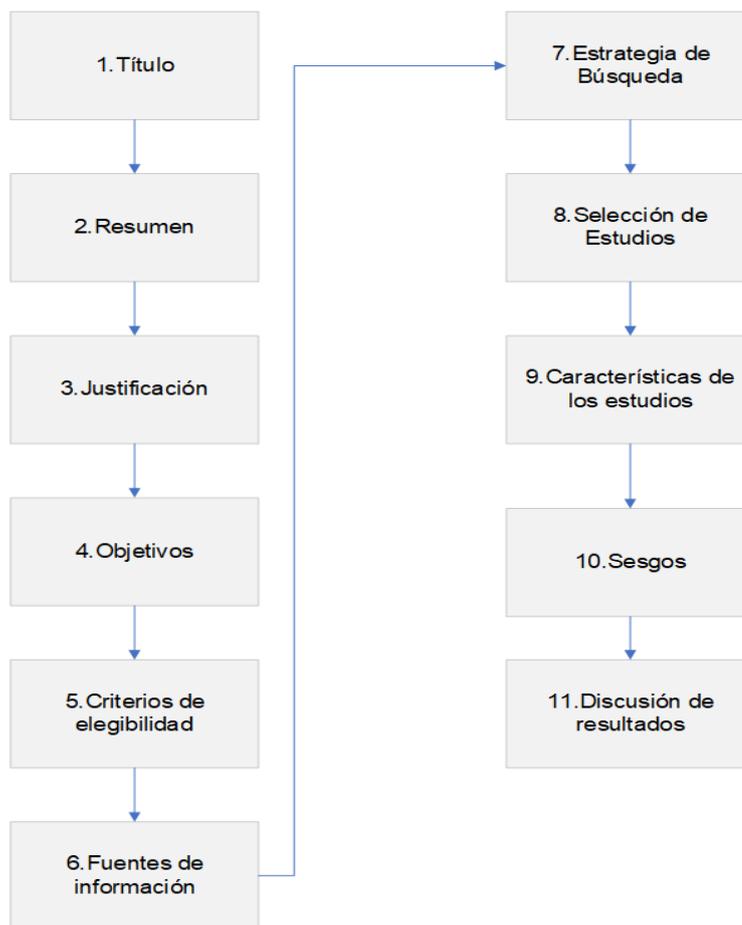


Figura 2.1 Etapas de la revisión sistemática basada en declaración prisma 2020 (Fuente: Elaboración propia)

Considerando que las primeras cuatro etapas de la revisión sistemática fueron abordadas en el capítulo 1 de este documento, se describirán a continuación las etapas 5 a la 11 en este apartado.

2.1.1. Criterios de elegibilidad

En esta etapa todas las publicaciones son evaluadas utilizando los criterios de inclusión y exclusión elegidos, y solo aquellos que cumplan los requisitos pasaran a la siguiente etapa para ser analizados; en su primera etapa estos criterios se basan en el análisis del título, resumen y palabras claves proporcionadas por el autor; para posteriormente ser leídos y analizados. (*Description of the Systematic Literature Review Method*, n.d.)

Siguiendo la estructura de PRISMA, se comenzó definiendo los criterios de inclusión:

Artículos, y capítulos de libros publicados en las bases de datos de Scopus y Web of science en el período del 2016 a mayo del 2024, que contengan las palabras clave Logistics 5.0 and Industry 5.0.



Logística 5.0-Análisis de Literatura

Se tomaron en cuenta únicamente los estudios publicados en inglés y español, y se excluyeron aquellos publicados en revistas enfocadas en ciencias de la salud. Se decidió realizar la búsqueda de literatura en la base de datos Scopus y Web of science, debido a que son bases de datos multidisciplinarias con que recopilan las principales publicaciones científicas de cualquier área del conocimiento.

El proceso de selección de identificación de los estudios se ilustra en la figura 2.2 mostrada a continuación.

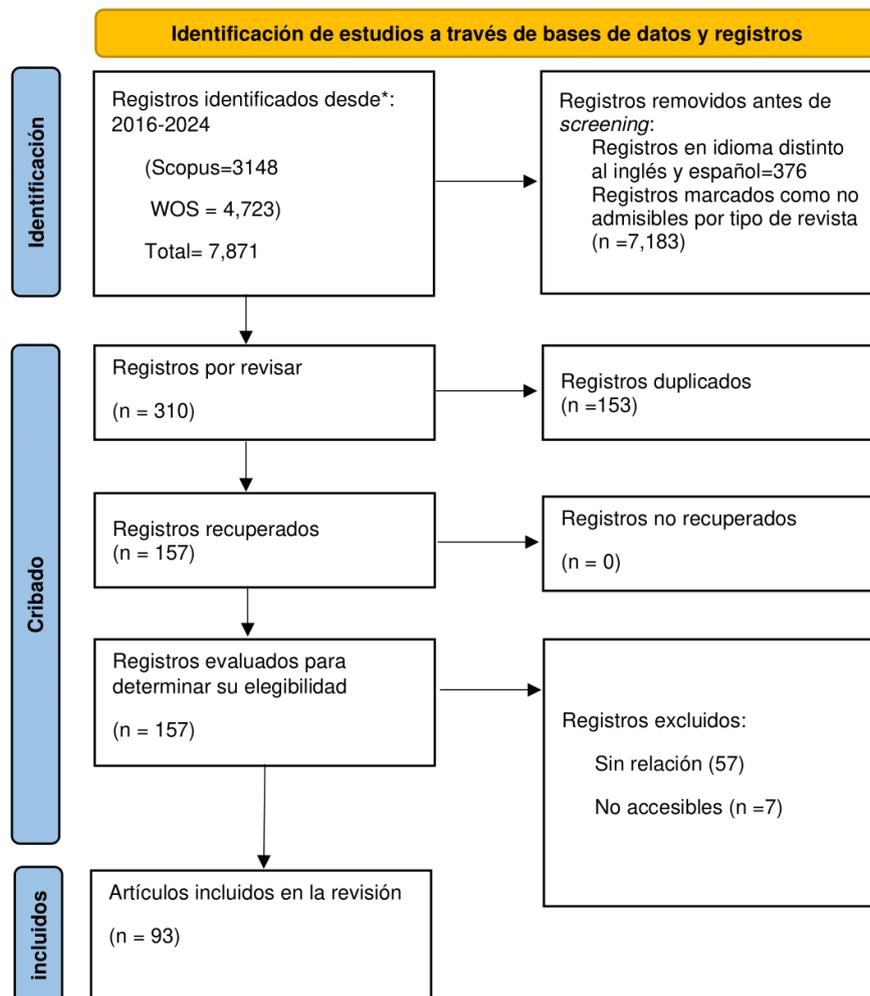


Figura 2.2 Diagrama Prisma de revisión bibliográfica (Fuente: Elaboración propia)

Al utilizar como palabras clave para la búsqueda las palabras ‘Logistics 5.0’, Industry 5.0” se obtuvo un total de 7,871 resultados, de los cuales 3141 (40%) corresponden a Scopus y 4,723 (60%) a WOS.

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

Al aplicar el criterio de exclusión de idioma, se descartaron 376 artículos publicados en idiomas como el mandarín, portugués, ruso, alemán, francés, japonés y coreano.

También se descartaron 7,183 artículos enfocados en medicina, bioquímica, inmunología, enfermería, agricultura, neurociencias, farmacología, ciencias de la salud, química y artes, quedando de esta forma 310 artículos restantes. Después se procedió a realizar un cruce de los artículos obtenidos en Scopus y WOS, con el objetivo de eliminar las publicaciones duplicadas, identificándose 121 publicaciones en común en ambas bases de datos.

2.1.2. Selección de estudios

Como primer paso, se construyó una base de datos con los 157 artículos, y se procedió con la lectura de los títulos para poder descartar aquellos que no tuvieran relación con el enfoque de la Logística 5.0.

Para determinar la relevancia de los artículos restantes se procedió con el análisis mediante la lectura de cada artículo, aplicando técnicas de lectura estratégicas como el skimming, que consiste en centrarse en las ideas principales de un texto; en el contexto de este estudio, se aplicó mediante la revisión de los resúmenes (abstract) y conclusiones de los artículos.

Al final de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión ilustrados en la figura 2.1, se obtuvieron 93 artículos, sobre los cuales se aplicaron las siguientes etapas de la metodología PRISMA 2020.

2.1.3. Características de los estudios

Una vez identificados los 93 artículos que cumplen los criterios de inclusión definidos en el estudio, se procedió al análisis minucioso de los artículos, con el objetivo de extraer aspectos clave de las ideas planteadas por los autores a través de palabras clave y realizar agrupaciones de acuerdo con su contenido, país de origen, revistas, y años en los que fueron publicados, como se muestra en la figura 2.3.

Título	Palabras clave del paper	Categoría	Tendencia
Logistics management for the future: the IJLRA framework	Impacto en humanos, mecanismos robot humanos	Desafíos	Desafíos
The confluence of Logistics 4.0 and agribusiness: A systematic review and future prototyping, collaborative robots, and AI-based supply chains.	hyper-cognitive systems, virtual and extended reality, digital	Desafíos	Desafíos
Putting Digital Technologies at the Forefront of Industry 5.0 for the Implementation of Circular Economy	Economía circular	Economía verde	Sostenibilidad
Impacts of Technological Progress, Structural Adjustment on Energy-Related Carbon Emissions	Sostenibilidad	Reducción de emisiones	Sostenibilidad
Implementing transmission of data for digital twins in human-centered cyber-physical systems	Sistemas ciberfísicos centrados en el ser humano	Gemelos digitales	Fabricas inteligentes
Human-technology integration in smart manufacturing and logistics: current trends and future research	human-machine integration, human-robot collaboration, worker-assisted automation	Sistemas hombre-máquina	Integración hombre-máquina
Mobility 5.0: Smart Logistics and Transportation Services in Cyber-Physical-Social Systems	TSS Intelligent Vehicle 5.0	Movilidad 5.0	Transporte
Greening Construction Transport as a Sustainability Enabler for New Zealand: A Framework for Decarbonisation	transport, sustainable construction, transport	Transporte	Transporte
Towards a Smart, Resilient and Sustainable Industry - Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Twin	decarbonisation	Transporte	Transporte
Toward Homecare Logistics 5.0: A Systematic Literature Review	human-centred design	Gemelos digitales	Fabricas inteligentes
Industrial IoT and AI Implementation in vehicular logistics and supply chain management with energy efficient and low latency performance of the new IIoT	increase in customer satisfaction, process efficiency, decreasing cost of operation	Salud	Salud
THE SMART MANUFACTURING: IMPERATIVES AND TRENDS	Global digitalization, Industry 5.0	Transporte	Transporte
Internet of Things Technology for Train Positioning and Integrity in the Railway Industry	Awareness, implementation	Economía verde	Sostenibilidad
Use of Industry 5.0 Technologies in Logistics Activities	AGV, Exosqueletos, productividad	Transporte Inteligente	Transporte
Operationalisation and validation of a human factors-based decision support framework for Industry 5.0	Awareness, implementation	Industria verde	Sostenibilidad
Work and AI 2030: Challenges and Strategies for Tomorrow's Work	Effectos de la AI en los empleados de manufactura	Fabricación centrada en las personas	Integración hombre-máquina
Operator 5.0: Intelligent Work Ergonomics in Automobile Cargo Handling Concept	AGV, Exosqueletos, productividad	Desafíos	Desafíos
Logistics 5.0: From Intelligent Networks to Sustainable Ecosystems	Cyber-Physical-Social Systems (CPSS), human-oriented operating systems	Operador 5.0	Integración hombre-máquina

Figura 2.3 Extracto de hoja de trabajo para análisis de artículos



Logística 5.0-Análisis de Literatura

En este proceso, se utilizaron herramientas como Excel y Power BI, con el objetivo de realizar análisis de la información de los artículos analizados.

Como resultado de este proceso, fue posible identificar las tendencias y desafíos en la implementación de la logística 5.0, las cuales se analizan a detalle en los capítulos siguientes.

2.1.4. Sesgos

De acuerdo con expertos, en los procesos de búsqueda para una revisión de literatura, es común para los autores incurrir en varios sesgos, como ser la ubicación geográfica del estudio o el año de publicación. La implementación de estas restricciones a la población de estudios potenciales producirá una muestra sesgada porque los autores están potencialmente ignorando un conjunto relevante de evidencia. Otro riesgo latente es que los autores limiten su búsqueda a las bases de datos con las que están familiarizados o no incluir completamente una representación de las bases de datos disponibles (Cochrane Consumers and Communication Review Group, 2011).

Con el objetivo de facilitar a la reproducción de la revisión de literatura para futuras investigaciones, se procedió con el análisis de los posibles sesgos de la investigación, los cuales son resumidos a continuación en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Análisis de sesgos de la investigación (Fuente: Elaboración propia)

Tipo de sesgo	Observación
Limitación Geográfica	No se plantearon criterios de exclusión relacionados con la ubicación geográfica de los autores.
Limitación del tipo de documento	Se incluyeron en este análisis únicamente artículos y capítulos de libros.
Sesgo de idioma	Se incluyeron únicamente artículos publicados en inglés y español, debido a que son los idiomas que domina el autor del trabajo de fin de máster.
Sesgo de base de datos	Se utilizaron las bases de datos de Scopus y Web of Science
Sesgo de limitación temporal	Se utilizaron artículos publicados en el periodo 2016-2024.

2.2. Tendencias

Una vez aplicadas las etapas previas de la revisión sistemática, se prosigue con la discusión de resultados.

Al realizar el análisis de las publicaciones por año, se puede observar en el año 2023 se publicaron 45 de ellas, lo cual corresponde a un 48.3% de los estudios seleccionados para el análisis de las tendencias y desafíos, tal y como se observa en la figura 2.4.

Recuento de artículos seleccionados por año

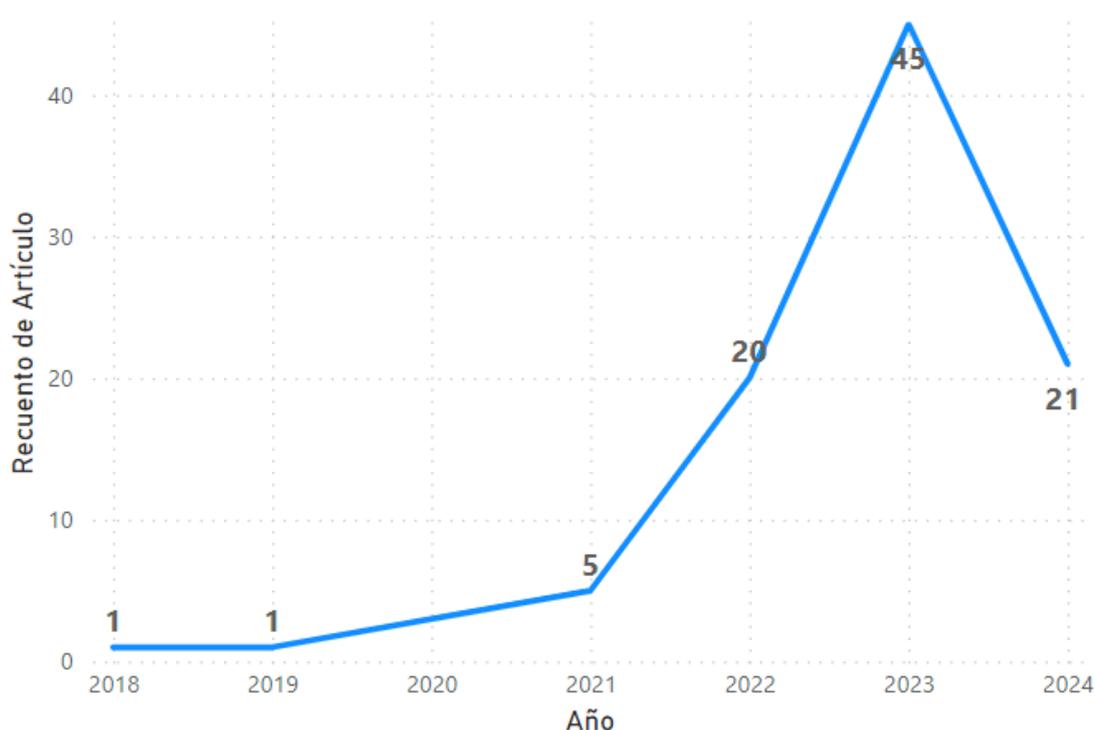


Figura 2.4 Recuento de artículos seleccionados por año (Fuente: Elaboración propia)

Posteriormente se realizó un análisis sobre los países donde se realizaron las publicaciones analizadas, tomando en cuenta la información obtenida de Scopus y web of science.

En la Figura 2.5 se muestra un mapa, el cual resume las investigaciones realizadas en el periodo del 2016 al 2024 sobre logística 5.0; donde se puede observar que el



Logística 5.0-Análisis de Literatura

continente europeo toma la delantera en comparación con Asia y América.



Figura 2.5 Mapa de Investigaciones de logística 5.0 por país (Fuente: Elaboración propia)

Al ordenar los países por el número de contribuciones en el estudio de la logística 5.0 en el periodo 2016 al 2024, se fue crear un ranking resumido en la Tabla 2.2 mostrada a continuación, donde se observa que China ocupa el primer lugar a nivel mundial en el estudio de la logística 5.0, teniendo en consideración los criterios de inclusión descritos en el capítulo 1 de este documento.

Tabla 2.2. Ranking de investigaciones de logística 5.0 por país (Fuente: Elaboración Propia)

Nº	País	Estudios	Porcentaje
1	China	16	13.79%
2	Italia	12	10.34%
3	Alemania	11	9.48%
4	Reino Unido	9	7.76%
5	India	9	7.76%
6	Suecia	5	4.31%
7	Noruega	5	4.31%
8	Turquía	4	3.45%
9	Portugal	4	3.45%
10	Hong-Kong	4	3.45%
11	Malasia	3	2.59%
12	Canadá	3	2.59%
13	México	3	2.59%

Continuación de la Tabla 2.2 (Fuente: Elaboración Propia)

Nº	País	Estudios	Porcentaje
14	Austria	3	2.59%
15	Croacia	3	2.59%
16	Polonia	3	2.59%
17	Pakistán	2	1.72%
18	España	2	1.72%
19	Arabia Saudita	1	0.86%
20	Australia	1	0.86%
21	Grecia	1	0.86%
22	Colombia	1	0.86%
23	Nueva Zelanda	1	0.86%
24	Ecuador	1	0.86%
25	Estados Unidos	1	0.86%
26	Bélgica	1	0.86%
27	Qatar	1	0.86%
28	Indonesia	1	0.86%
29	Rusia	1	0.86%
30	Irlanda	1	0.86%
31	Dinamarca	1	0.86%
32	Brasil	1	0.86%
33	Hungría	1	0.86%
	Total	116	100.00%

Posteriormente se procedió con la clasificación de los artículos en categorías, basados en la similitud y enfoque de su contenido; como resultado de esta tarea se definieron 8 grupos para la clasificación de los artículos, donde siete de ellos se enfocan en las tendencias en el estudio de la logística 5.0 y un grupo enfocado en los desafíos identificados por los expertos para su implementación.

En la figura 2.6 se muestra que el estudio de las fábricas inteligentes lleva la delantera, con un 40.86% de los artículos enfocados en el tema.



Logística 5.0-Análisis de Literatura

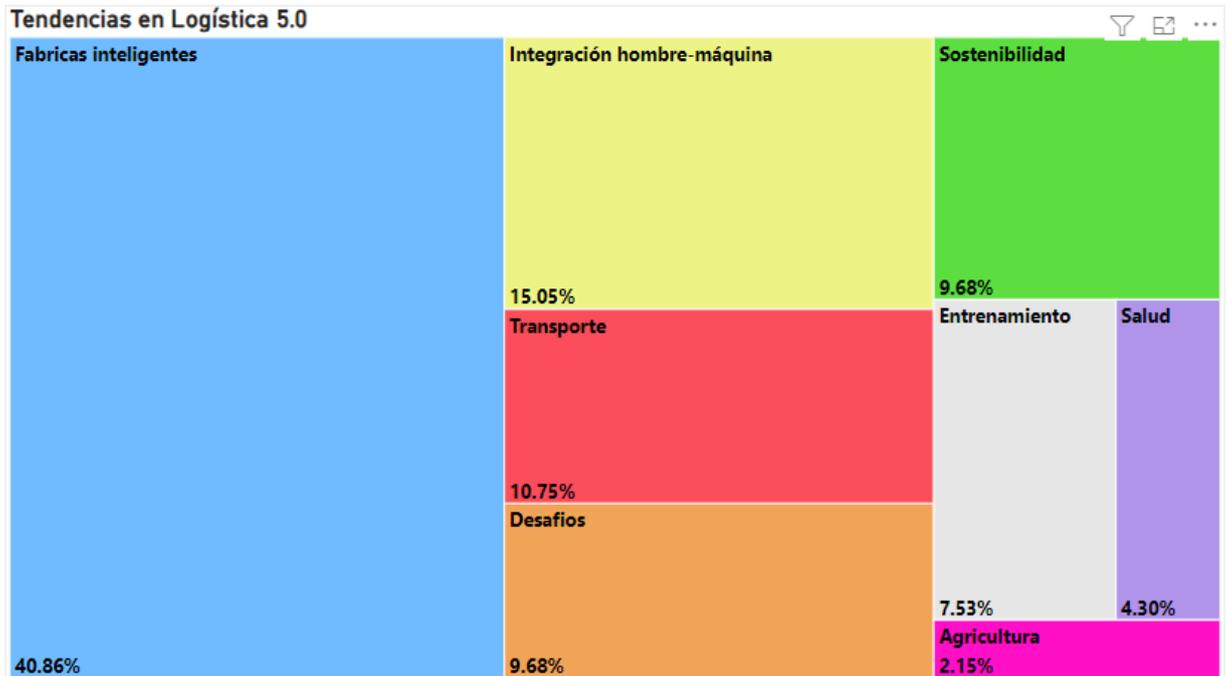


Figura 2.6 Tendencias en el estudio de la Logística 5.0

Para cada una de las tendencias y desafíos identificados, se realizó una segunda clasificación en categorías para los artículos analizados, con el objetivo de mostrar la diversidad de aplicaciones y trabajos que se están desarrollando en la actualidad para la implementación de la logística 5.0 en distintas industrias. En cada uno de los siguientes capítulos, se habla sobre los hallazgos y aplicaciones más relevantes; también se habla de las iniciativas de los investigadores en orden cronológico y por país, para poder facilitar la evolución en la implementación de la logística 5.0.

Capítulo 3. Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

En el año 2014 se propuso una definición de fábricas inteligentes, debido a que se utilizaban varios términos intercambiables, basados en descripciones vagas de las funciones esperadas de la fábrica, como ser U-Factory, fabrica de las cosas (FOT) o fabrica inteligente del futuro(Radziwon et al., 2014). A través del estudio presentado por expertos de Dinamarca en el Simposio internacional sobre fabricación inteligente y automatización, se propuso como definición de fabrica inteligente la siguiente:

Una fábrica inteligente es una solución de fabricación que proporciona procesos de producción flexibles y adaptables que permitirán resolver los problemas que surgen en una instalación de producción con condiciones límite dinámicas y rápidamente cambiantes en un mundo cada vez más complejo. Esta solución especial podría estar relacionada, por un lado, con la automatización, entendida como una combinación de software, hardware y/o mecánica, que debería conducir a la optimización de la fabricación, lo que se traduciría en una reducción de la mano de obra innecesaria y del despilfarro de recursos; donde la inteligencia proviene de la formación de una organización dinámica(Radziwon et al., 2014). En la figura 3.1, se muestra el ejemplo de una fábrica inteligente, donde se observa como el usuario puede controlar y monitorear una maquina automatizada a través de una tableta.



Figura 3.1 Ilustración de Fabrica Inteligente de Schneider electric en Indonesia (Schneider electric, 2024)

A través de estudios realizados previamente por expertos, se ha determinado como elementos centrales de las fábricas digitales la automatización, el desarrollo autónomo



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

y personalización de los productos; así como una orientación a la demanda del cliente y la integración de la realidad virtual (C. Wang et al., 2022).

En la actualidad las fábricas inteligentes, se definen como aquellas que integran las máquinas, personas y big data en ecosistema único, conectado digitalmente, donde se seleccionan y analizan los datos recolectados para pronosticar tendencias, eventos e implementar la mejora continua para autocorregirse y mejorarse (SAP insights, 2022).

Estas fábricas inteligentes permiten a los operadores controlar las máquinas y procesos de forma remota, a través de la utilización de tecnologías basadas en el internet de las cosas y conectividad 5G; un ejemplo de ello es el proyecto desarrollado por el Instituto de Investigación en Electrónica y Telecomunicaciones, donde se han realizado experimentos para controlar maquinaria en una fábrica ubicada en Gyeongsan, Corea del Sur desde la universidad de Oulu en Finlandia, donde se transmitían las órdenes a las maquinas en menos de 0.3 s a una distancia de más de 10,000 km (National Research Council of Science & Technology, 2022), tal y como se muestra en la ilustración 3.2.



Figura 3.2 Investigador controlando un robot utilizando tecnología 5G en fábrica Inteligente (ETRI,2024)

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

A través de la búsqueda bibliográfica se identificaron 38 artículos enfocados en el papel que juegan las fábricas inteligentes en la logística 5.0, representando un 40.86 % de los estudios analizados en la revisión de literatura.

Al realizar un análisis de las publicaciones por país de publicación se identificó que los estudios sobre fábricas inteligentes se centran en la región de Europa y Asia, tal y como se observa en la figura 3.3.



Figura 3.3 Mapa de Estudios de Fabricas inteligentes por región

De acuerdo con estudios recientes, Asia-Pacífico es la mayor región del mercado mundial de fabricación inteligente (Fortune business insights, 2024a). Se prevé que crezca a una tasa de crecimiento anual compuesto del 15,7% durante el periodo 2023-2030.

En el caso de Europa, esta se ubica como la tercera región en importancia en el mercado mundial de la fabricación inteligente, y se prevé que el tamaño del mercado de la fabricación inteligente en Europa crezca a una tasa de crecimiento anual compuesto del 12,5% durante el periodo del 2023 -2030. Se prevé que el mercado europeo pase de 277.810 millones de USD en 2022 a 754.100 millones de USD en 2030 (Fortune business insights, 2024b).



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

Al realizar el análisis de los estudios seleccionados por cada país presentado en la figura 3.4, se observa que China e Italia encabezan el número de estudios publicados.

Publicaciones de Fabricas Inteligentes por País



Figura 3.4 Publicaciones de Fabricas inteligentes por país (Fuente: Elaboración Propia)

En el año 2023 la compañía estadounidense Rockwell Automation publicó su octavo reporte anual del estado de la fabricación inteligente, donde encuestó a 1350 empresas alrededor del mundo para conocer las tendencias. El 84% de los encuestados afirmó haber adoptado la fabricación inteligente o estar evaluando activamente soluciones con la intención de invertir en el año 2024; y se identificó que los índices de adopción también varían según el país: siendo los tres primeros China (70%), Estados Unidos (60%) e India (57%) (Rockwell Automation, 2023).

Posteriormente se procedió al análisis de las publicaciones, con el objetivo de agruparlas de acuerdo con su contenido y analizar las tendencias más relevantes, donde se identificaron 16 categorías, cuya proporción se muestra en la figura 3.5.

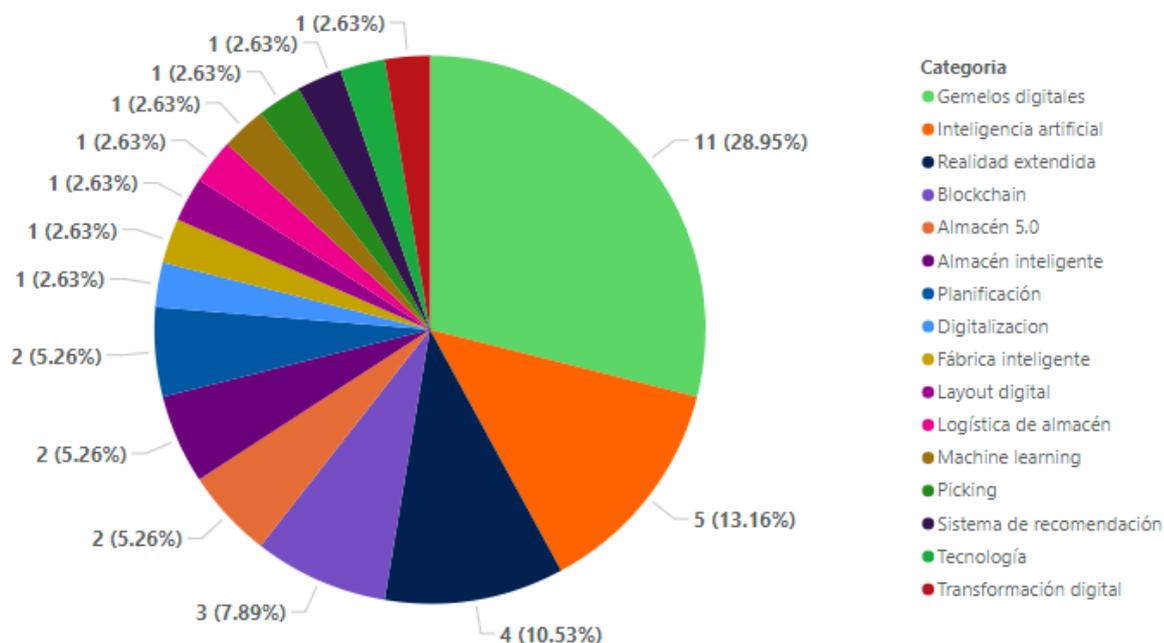


Figura 3.5 Categorías en los estudios sobre Fabricas inteligentes (Fuente: Elaboración Propia)

Tal y como se observa en la figura, los gemelos digitales llevan la delantera en los estudios de fábricas inteligentes; seguido de la inteligencia artificial, realidad extendidas y blockchain; los cuales fueron los términos con más menciones en los artículos analizados en la revisión bibliográfica.

A continuación, se presentan una descripción de los estudios más relevantes realizados para las categorías más representativas.

3.1. Gemelos Digitales

Los gemelos digitales, cuyo término apareció por primera vez en el 2010 en un borrador de la NASA sobre la ruta tecnológica (Shafto et al., 2010); tuvieron su origen en la industria de la aviación y la aeronáutica, y se utilizaba para referirse a una simulación integrada multi-física, multi-escala y probabilística de un vehículo o sistema que reflejaba la vida de su gemelo volante (Singh et al., 2021).

En la actualidad se define a los gemelos digitales como la copia o el modelo virtual de cualquier entidad física (gemelo físico), ambos interconectados mediante el intercambio de datos en tiempo real, el cual imita el estado de su gemelo físico en tiempo real y viceversa (Singh et al., 2021).

Aunque en un principio se desarrolló este término en la industria de la aviación, hoy en día se ha expandido a otras industrias, como el transporte, construcción, salud; y se



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

han identificado un gran potencial para su aplicación a nivel de procesos y sistemas, resumidos por (Yao et al., 2023) de la siguiente manera:

Tabla 3.1 Estado de la investigación sobre sistemas de aplicación de Gemelos Digitales (Fuente: Yao et al. 2023)

Jerarquía de aplicación	Áreas de aplicación del sistema	Función del sistema de aplicación
Nivel de Procesos	Manufactura Inteligente	<ul style="list-style-type: none">• Simulación de procesos de producción.• Diagnóstico de averías de máquinas.• Supervisión y previsión de herramientas o máquinas de producción.
	Colaboración hombre-máquina	<ul style="list-style-type: none">• Optimización de la colaboración industrial hombre-máquina.
	Fundición de Metales	<ul style="list-style-type: none">• Simulación del proceso de producción.
	Redes Físicas	<ul style="list-style-type: none">• Implantación de Industria 4.0, IoT y sistemas ciber físicos de producción.
Nivel de Sistemas	Fabricas Inteligentes	<ul style="list-style-type: none">• Mejora de la eficiencia de los equipos de fabricación en taller.• Optimización de la planificación de la producción y la asignación de recursos.• Supervisión operativa y resolución de problemas.
	Entrenamiento y Educación	<ul style="list-style-type: none">• Optimizar la enseñanza a distancia o en línea.
	Energía y Potencia	<ul style="list-style-type: none">• Optimización de la planificación de la producción y la asignación de recursosSupervisión operativa y resolución de problemas.
	Transporte Inteligente	<ul style="list-style-type: none">• Aumentar el conocimiento del estado del tráfico para facilitar las decisiones al volante.

De acuerdo con datos publicados por expertos, la región de América del Norte dominó el mercado y representó una cuota de alrededor del 34,0% en 2023. El crecimiento regional puede atribuirse a la aparición de tecnologías, como la automatización robótica de procesos (RPA), la realidad virtual (VR) y el IoT, que han empezado a influir en el sector de los gemelos digitales. Las empresas clave de EE. UU., como International Business Machines Corporation, Microsoft Corporation y General Electric, están trabajando eficazmente en el desarrollo de nuevos productos y la mejora de los productos existentes para adquirir clientes y captar más cuotas de mercado(Grand View Research, 2024).

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

Se espera que el mercado de gemelos digitales en Europa crezca a una tasa del 38,1% de 2024 a 2030. Este crecimiento puede atribuirse a la creciente adopción de tecnologías de la Industria 4.0 y al desarrollo de tecnologías emergentes, como el análisis de big data, IoT, IA y Machine Learning (ML). En febrero de 2023, Ericsson, la multinacional sueca de redes y telecomunicaciones, anunció que demostraría sus nuevos equipos de interior y macro, el gemelo digital en vivo de la red 6G y el acceso inalámbrico fijo (FWA por sus siglas en inglés) en el Mobile World Congress 2023 de Barcelona (Grand View Research, 2024)

En el caso de los artículos analizados en la revisión bibliográfica siguiendo la metodología PRISMA, se identificaron los países que han generado estudios sobre la implementación de gemelos digitales, los cuales tal y como se observan en la figura 3.6, se atribuyen a Europa y Asia.

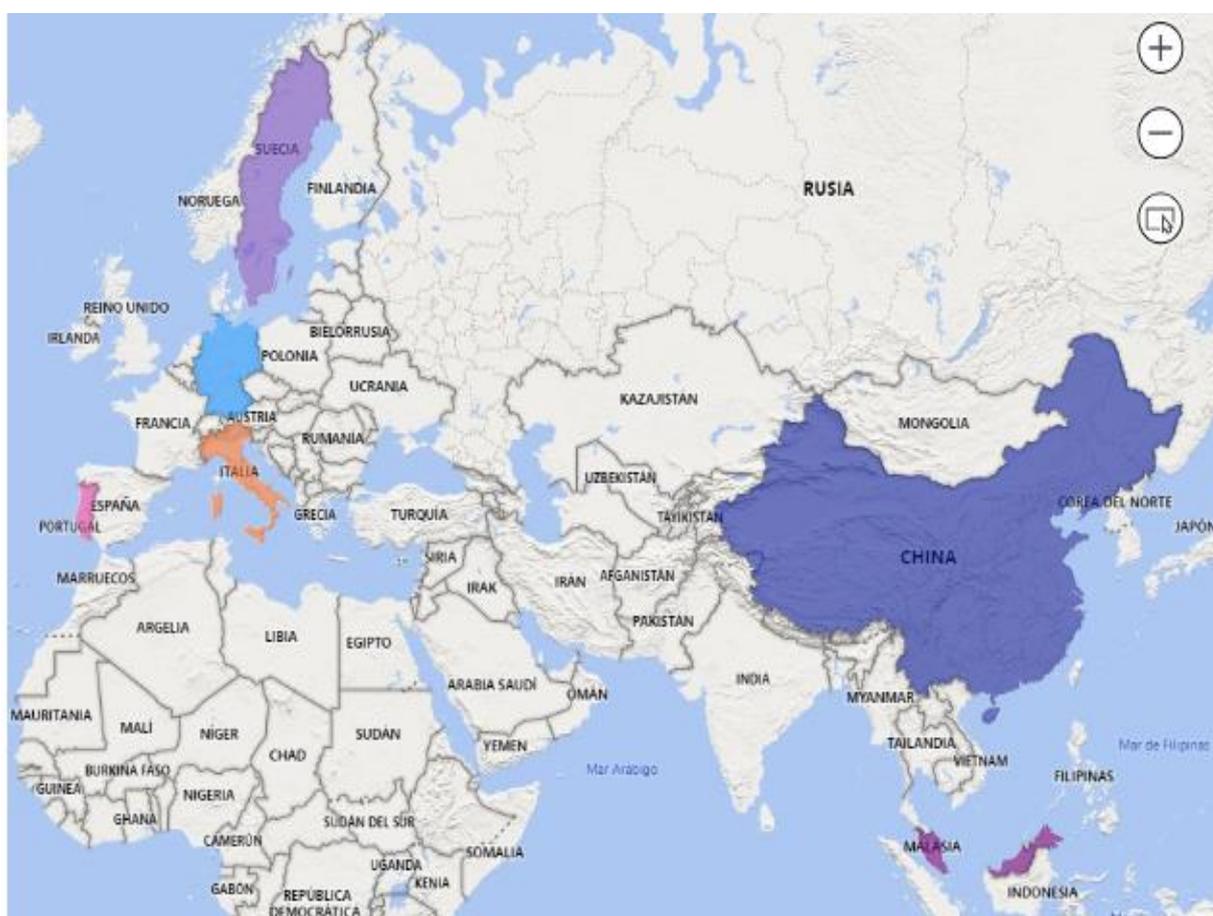


Figura 3.6 Distribución geográfica de los estudios sobre gemelos digitales

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las aplicaciones de los gemelos digitales en la implementación de la logística 5.0, los cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

Año 2022

En Noruega, expertos estudiaron la implementación de un gemelo digital basado en la nube para modelar un problema de logística inversa en una empresa de manufactura, donde se analizaron las rutas logísticas de 4 centros de recolección ubicados en Oslo, Bergen, Trondheim y Drammen. Los resultados computacionales muestran que, para el caso en cuestión, la información proporcionada por el gemelo digital puede ayudar a reducir los costes operativos totales bajo los dos patrones de demanda hasta un 2,21% y un 2,44%, respectivamente (Yu, 2022).

Año 2023

En este año un grupo de expertos en Noruega, desarrollan un primer acercamiento a la construcción de un modelo para la implementación de un gemelo digital para la mejora de la sostenibilidad en la logística inversa del proceso de recolección, reproceso y desecho en una red compuesta por 16 centros de recolección, 3 plantas de reproceso y dos sitios de desecho distribuidos en Noruega (Sun et al., 2023).

En Malasia investigadores realizaron un análisis bibliográfico de las aplicaciones de los gemelos digitales en las cadenas de suministro; donde afirman que la investigación sobre gemelos digitales en la cadena de suministro comenzó en 2014, y denominan a el periodo de 2014 a 2017 como la etapa temprana de la investigación del gemelo digital en la cadena de suministro, ya que el número de publicaciones que figuran en la Web of Science era todavía bajo. Luego, la etapa de desarrollo de la investigación fue de 2018 a 2020. La etapa de prosperidad de la investigación da inicio a partir del año 2021 ;y señalan que la pandemia de covid19 consolidó a los gemelos digitales como una solución potencial para la supervivencia de las cadenas de suministro durante tiempos de emergencia (Lam et al., 2023).

En Alemania se estudió como ahorrar tiempo en el proceso de digitalización de los puertos en el sur de la región báltica mediante la aplicación de una encuesta a 17 puertos. El enfoque del proyecto consistía en la utilización de un gemelo digital para ayudar a los encargados de los puertos a reducir tiempos de operación mediante la aplicación de gemelos digitales; sin embargo se concluyó que correspondía a los cada una de las autoridades portuarias analizar si el costo de desarrollar estos modelos serian compensados por las ganancias a obtener; y contribuir a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (Klein & Spsychalska-Wojtkiewicz, 2023).

Al mismo tiempo, se desarrollaba en Alemania la conceptualización de un marco de referencia de siete elementos para la implementación de gemelos digitales en cadenas de suministro, el cual consiste en la integración de tecnología, personas, gestión, organización, alcance, tareas y modelización. La integración de estos elementos permite a los expertos demostrar que los gemelos digitales no son una mera réplica basada en la simulación de un objeto real, sino un fenómeno sociotécnico complejo que implica interacciones continuas entre el ser humano y la inteligencia artificial (Ivanov, 2024).

En el caso de Portugal se desarrolló un modelo mediante la implementación de gemelos digitales, que asignaran de forma equitativa las tareas de logística para procesos donde intervienen flotas de trabajadores compuestas por robots/vehículos autónomos y humanos como proveedores de servicios (Ignatius & Bahsoon, 2024).

Expertos en Italia presentaron un marco de referencia para la integración de soluciones de IoT, blockchain, gemelos digitales e inteligencia artificial en apoyo de la transformación empresarial digital de la logística 5.0; donde se afirmó de que a pesar que el desarrollo de gemelos digitales requiere mucho tiempo, conocimientos y recursos económicos que pocas organizaciones pueden permitirse hoy en día, al ser exitosa su implementación puede garantizar una ventaja competitiva permanente y una competencia especial única o difícil de reproducir, capaz de satisfacer factores de éxito críticos como la velocidad de cumplimiento de pedidos, que es crucial en la función logística (Nicoletti & Appolloni, 2023).

Por su parte, en Suecia expertos trabajaron en el desarrollo de un modelo para la transmisión de datos entre gemelos digitales en sistemas ciber físicos, centrados en la interacción humana; para este modelo se extrajo información de un proceso de fabricación de aviones y otro proceso de distribución logística, y se logró definir un procedimiento para la transmisión bidireccional de datos, sin importar el sistema que se desee utilizar (Jeong et al., 2023).

Año 2024

En China se estudió la aplicación de los gemelos digitales para la mejora de un sistema de sistema de clasificación transversal(Qu et al., 2024), en un centro de distribución de Pekín que pertenece a una empresa de mensajería urgente que alcanzó un rendimiento total de 115 millones de piezas en 2021, de las que aproximadamente 92 millones eran pequeños paquetes. En el centro de distribución se utiliza un sistema de clasificación de banda transversal de doble capa y zona para clasificar y procesar los paquetes pequeños, la cual se puede observar en la figura 3.7.



Figura 3.7 Área de clasificación de los paquetes (Qu et al.,2024)



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

Para el modelado digital se empleó la simulación de la planta (software Siemens Tecnomatix Plant Simulation), y un sistema SCADA proporcionó la cartografía dinámica, permitiendo la visualización en tiempo real del estado operativo del sistema. Esto facilitó la optimización en línea del sistema, basada en datos en tiempo real, cuyo modelo se muestra en la figura 3.8.

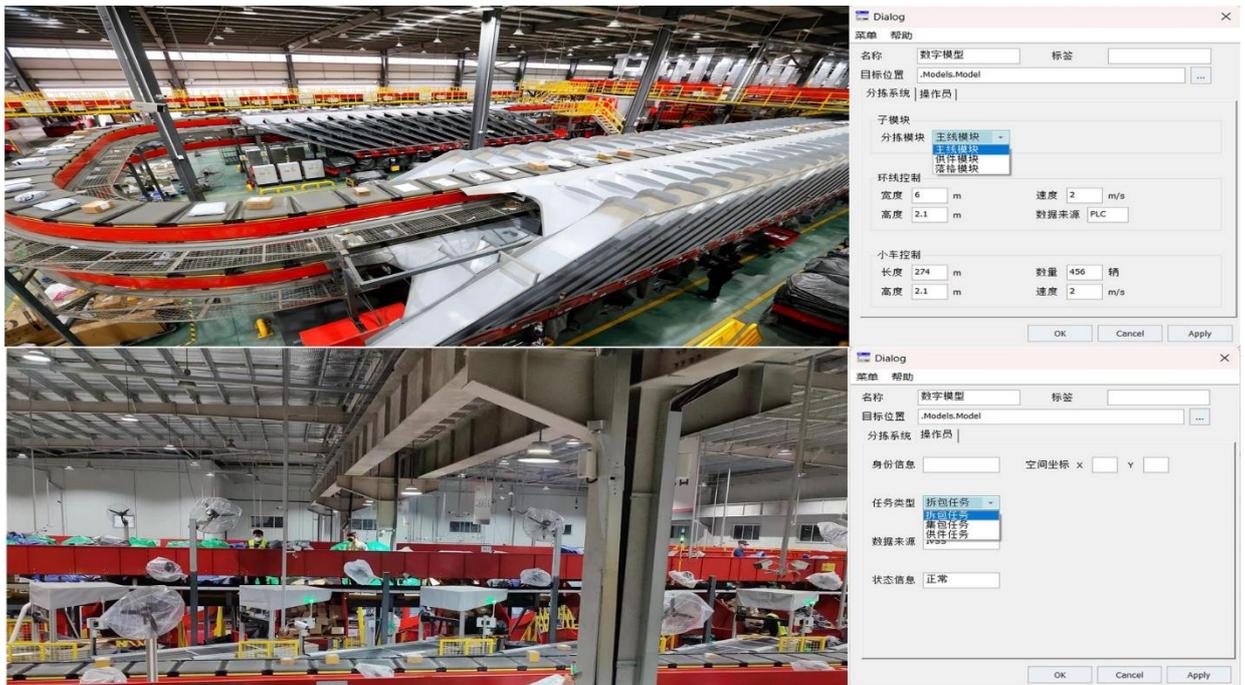


Figura 3.8 Construcción del modelo digital del sistema de clasificación (Qu et al., 2024)

3.2. Inteligencia Artificial

A pesar de que estudios previos señalan que la investigación sobre las aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA) en logística se inició en 1990 (Joshi et al., 2023) desde entonces, se han investigado muchas aplicaciones de la IA en logística, sin embargo se dificulta comparar los resultados y el impacto entre de su implementación en diferentes organizaciones, debido a la diversidad existente en la aplicación de la IA en la gestión de la cadena de suministro. Investigadores señalan que uno de las tendencias emergentes es la dirección hacia un enfoque centrado en el ser humano en la gestión de la cadena de suministro impulsada por la IA, con una mayor atención a la formación y el desarrollo de la mano de obra, así como a la consideración del impacto humano de la automatización y los procesos impulsados por la IA (Mohsen, 2023).

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las aplicaciones de la inteligencia artificial en la implementación de la logística 5.0, los cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:

Año 2021

Se desarrolla en Turquía un modelo de predicción a través del análisis de impacto de los beneficios obtenidos por la implementación de robots en diferentes etapas del proceso aplicando inteligencia artificial, donde se identificó que los ahorros son mayor para aplicaciones intermodales, tomando en cuenta la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (Davranış Araştırmaları Dergisi et al., 2021).

Año 2022

En Italia, a través de la revisión de más de 100 artículos, se llegó a la conclusión de que los sistemas inteligentes pueden experimentar comportamientos inesperados, debido a el uso de enfoques probabilísticos basados en redes neurales, el aprendizaje automático y profundo, lo que genera sesgos y puede generar confusiones en los usuarios, y provocar pérdida de confianza en el uso de inteligencia artificial, por lo que es necesario buscar un equilibrio y apostar por los diseños de IA enfocados a un enfoque centrado en los operadores (Brunetti et al., 2022).

En Turquía, a través de un análisis DAFO aplicado en la empresa Turkey Logistics, se concluyó que el uso de robots se ha vuelto mandatorio, y se debe procurar ofrecer a los operadores condiciones de trabajo más humanas, mediante el uso de robots que puedan realizar los mismos trabajos ejecutados por los operadores en un ambiente de colaboración (Davranış et al., 2022) .

Año 2023

En Polonia, se analizó la implementación de soluciones de inteligencia artificial en el servicio al cliente de las industrias logísticas, y se detectó que a la fecha del estudio ya se utilizaban diferentes formas de soluciones basadas en IA (como Chabtbots, Voicebots y asistentes de voz). Incluso los clientes evalúan positivamente estas soluciones, entre otras cosas, por su eficiencia, competencia y calidad del servicio. Además, los clientes conocen las soluciones basadas en la IA y saben que su uso se intensificará en el futuro, ya que suponen un cambio de juego para la competitividad del servicio al cliente en logística (Brzozowska et al., 2023).

Año 2024

Investigadores de Polonia trabajaron en un proyecto sobre la implementación de robots autónomos en el proceso de remanufactura automotriz para manejar lo logística interna; donde se concluyó que al aumentar el número de robots en los procesos se multiplicarían los tiempos de espera, lo que tendría impacto en los costos operacionales, y que es posible mejorar las entregas internas con un único robot (Pizoń et al., 2024).



3.3. Realidad Aumentada

La realidad extendida o aumentada (RA) es una herramienta emergente de la Web 3.0 que muestra un segmento del mundo real superponiendo información adicional. Se diferencia de la realidad virtual en que mejora el mundo real en lugar de simular uno nuevo. Por ejemplo, puede utilizarse para mostrar un cuerpo humano real con una superposición de órganos, músculos, huesos o sistemas circulatorios (Helge & McKinnon, 2013).

En el año 2016, expertos realizaron un análisis de la evolución del uso de la realidad aumentada en la industria durante el período 2006-2016; mediante la cual llegaron a la conclusión de que las operaciones de montaje y el mantenimiento pueden beneficiarse de una ejecución más rápida de las actividades al implementar la realidad aumentada; otro resultado típico de la aplicación de la RA orientada a los problemas de aprendizaje/formación es la mejora en los procesos de enseñanza (Bottani & Vignali, 2019).

La realidad aumentada aprovecha las posibilidades de la visualización, el sonido, el texto y los efectos generados por ordenador para mejorar la experiencia del usuario en el mundo real y ayudar a los trabajadores en sus tareas cotidianas, como el montaje, la preparación de pedidos y el mantenimiento (Plakas et al., 2020).

Un ejemplo de la implementación de esta tecnología se puede observar en las fábricas de Audi, donde la RA ayuda a los planificadores logísticos de Audi a crear nuevas estructuras logísticas en una nave de producción existente (Audi Media Center, 2020). El software utiliza los datos CAD existentes de diversos objetos, como estanterías, contenedores y piezas. LayAR visualiza este «gemelo digital» como un holograma tridimensional en el dispositivo de realidad aumentada y lo proyecta a tamaño real en el entorno real, tal y como se observa en la figura 3.9.



Figura 3.9 Uso de realidad aumentada con la tecnología Holo lens 2 (Audi Media Center,2020)

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las aplicaciones de la realidad aumentada en la implementación de la logística 5.0, los cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:

Año 2022

En Portugal se realizó un estudio enfocado explorar el potencial para crear espacios de trabajo libres de residuos y más eficientes. Se recogieron y analizaron las opiniones de los trabajadores y su aceptación de las soluciones de RA propuestas resultantes de la metodología de evaluación de riesgos para la ergonomía y la seguridad en la logística en un estudio de caso(Pereira et al., 2023).

Se analizaron también técnicas de aumento humano, las cuales se basan en el uso de tecnologías capaces de aumentar las acciones, los sentidos, las capacidades y la cognición del ser humano, permitiéndole percibir el entorno real de una forma nueva y mejorada. Basándose en las tecnologías de aumento, se proporciona a los operadores información relevante para mejorar la vida humana y permitir nuevas soluciones de interfaz hombre-máquina(Kymalainen, 2016).

La opinión general fue positiva y se espera una menor prevalencia de trastornos musculoesqueléticos (TME) relacionados con el trabajo, menos días de baja y menor gravedad de las lesiones, así como una mayor eficiencia de los procesos, motivación de los operarios, bienestar y compromiso en los procesos de mejora continua.

En el caso de Hong Kong se realizó una revisión de literatura sobre la implementación de la realidad extendida, y se identificó que, en particular, la RA y la RV han tenido un gran potencial para educar y apoyar a los operadores de primera línea, se ha demostrado que la selección basada en la RA tiene una gran aceptación y una baja carga cognitiva por parte de los usuarios finales en los almacenes inteligentes, donde a través de flechas o rectángulos que señalen los objetos a mover(Tsang et al., 2022).

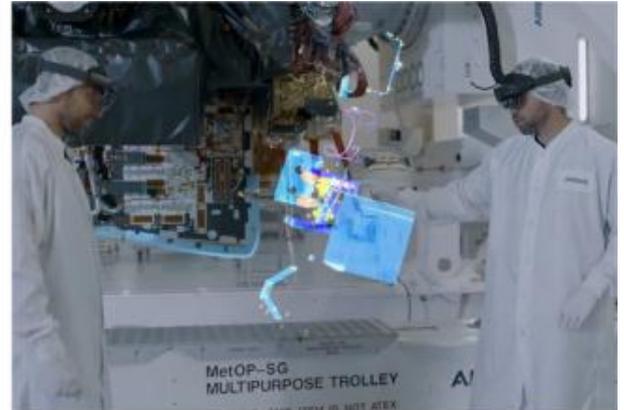
En esta revisión de la literatura los autores analizaron los casos exitosos de la implementación de la realidad aumentada, destacando el caso de Airbus, donde a través de la RA, se podían gestionar operaciones de montaje complicadas, mediante la superposición de objetos 3D en las líneas de producción físicas; en el caso de DB Schenker, se utiliza la realidad aumentada para el diseño de instalaciones logísticas, con el objetivo de identificar errores en el diseño y distribución de la planta antes de iniciar la construcción, permitiendo de esta forma evitar errores costosos para las empresas, estos ejemplos se muestran en la figura 3.10.



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes



(a) Pick-By-Vision (DHL)



(b) MR for product design (Airbus)



(c) Immersive logistics facility design (DB Schenker)

Figura 3.10 Casos exitosos en la implementación de la realidad aumentada (Tsang et al.,2022)

En el caso del transporte inteligente, se encontraron aplicaciones para mostrar en tiempo real a los conductores información relevante sobre las rutas de forma sintetizada, sin que afecte su ergonomía en forma de gafas inteligentes.

Se hizo mención de casos exitosos, como el programa Vision Picking implementado en DHL en el año 2015 en Países Bajos (DHL, 2015); donde a través de una prueba piloto con 10 operadores a los que se equipó con gafas inteligentes habilitadas con el software Ubimax xpick, en el cual en un período de tres semanas se completaron más de 9,000 órdenes, con un total de 20,000 artículos, lo que significó una mejora del desempeño del 25 %; también se analizó el caso de DB Schenker, quienes implementaron la RA para la planificación espacial en sus instalaciones logísticas.



Figura 3.11 Explicación de la tecnología de Vision Picking implementada por DHL (DHL,2015)

Año 2023

En China se investigaron las aplicaciones sostenibles de la realidad extendida (RX) en el ciclo de producto por medio de una revisión de literatura, donde se encontraron casos exitosos en la fabricación inteligente con un enfoque centrado en el ser humano para lograr una fabricación sostenible desde el punto de vista medioambiental. Los estudios revisados encontraron usos para la RX en las fases de marketing, diseño, fabricación, logística, uso y reutilización del ciclo de vida de un producto (Chu & Pan, 2024).

Entre las aplicaciones más relevantes, los autores analizaron una solución de visualización virtual para controlar el consumo eléctrico de los equipos eléctricos mediante la integración de RA, IoT y red inalámbrica. Los sensores compatibles con IoT recopilan el consumo eléctrico de cada equipo y transmiten los datos a través de WiFi para su visualización remota en dispositivos móviles en forma de panel de control, cuyo funcionamiento se observa en la figura 3.12.



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes



Figura 3.12 Aplicación de la RA para el monitoreo de consumo de energía en una planta (Chu & Pan 2024)

3.4. Blockchain

En el año 2018, la compañía DHL lanzó su reporte sobre el estado del Blockchain en la logística global, donde se mencionaban muchos proyectos en marcha que utilizan la tecnología blockchain para mejorar la transparencia de la cadena de suministro y controlar la procedencia. Estas iniciativas acumulan datos sobre cómo se fabrican, de dónde proceden y cómo se gestionan las mercancías; las cuales son almacenadas en bloques; lo que significa que la data puede compartirse fácilmente y se vuelve permanente, proporcionando a las partes interesadas en las cadenas de suministro capacidades de localización y seguimiento más completas que nunca (DHL, 2018).

Estos beneficios se extienden también a los consumidores, quienes cada vez más se interesan por el consumo responsable; permitiéndoles verificar si los productos han sido obtenidos de fuentes éticas, si son artículos originales y si se conserva en las condiciones correctas.

Expertos han analizado cómo puede utilizarse la tecnología de Blockchain en diferentes etapas de la cadena de valor en las empresas (Issaoui et al., 2019), donde se han identificado cuatro campos clave que se resumen en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Aplicaciones de la Blockchain en la logística inteligente (Fuente: Issaoui et al.,2019)

Campo de aplicación	Ejemplo
Información	<ul style="list-style-type: none"> • Trazabilidad de datos en operaciones logísticas, con los casos de la empresa exportadora de cereales CBH, que buscaba obtener una ventaja competitiva en Asia demostrando que la avena que exporta procede de Australia. • Aplicación de trazabilidad de la procedencia de las muestras geológicas por la gran empresa minera BHP Billiton, la ubicación original del muestreo y los datos adicionales de manipulación quedan registrados de forma inmutable en el canal público Ethereum Blockchain.
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Blockchain en el transporte marítimo o marítimo puede aumentar la sostenibilidad, reducir el fraude, reducir los retrasos en el papeleo, reducir los residuos e identificar los problemas más rápidamente.
Finanzas	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de criptomonedas para realizar pagos en ausencia de actores intermedios, así como la minimización ver la ausencia de los cargos de movimiento de los fondos.
Administración	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de contratos inteligentes con reglas almacenadas en bloques, capaces de organizar acuerdos financieros y garantizar que haya fondos suficientes disponibles para los proyectos y que todos cobren a tiempo.

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las aplicaciones de Blockchain en la implementación de la logística 5.0, los cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:

Año 2021

En Malasia, se estudió la implementación de contratos inteligentes basada en la tecnología de Blockchain Ethereum utilizando aplicaciones distribuidas en un hospital, de forma que permita obtener información de los pacientes para modelar la cadena logística (Rupa et al., 2021), el cual se muestra en la figura 3.13. Mediante el uso de estos contratos se pretende que su implementación ayude a analizar rápidamente la tasa de nacimientos, defunciones y enfermedades en función de determinadas características como la localidad y el año.



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

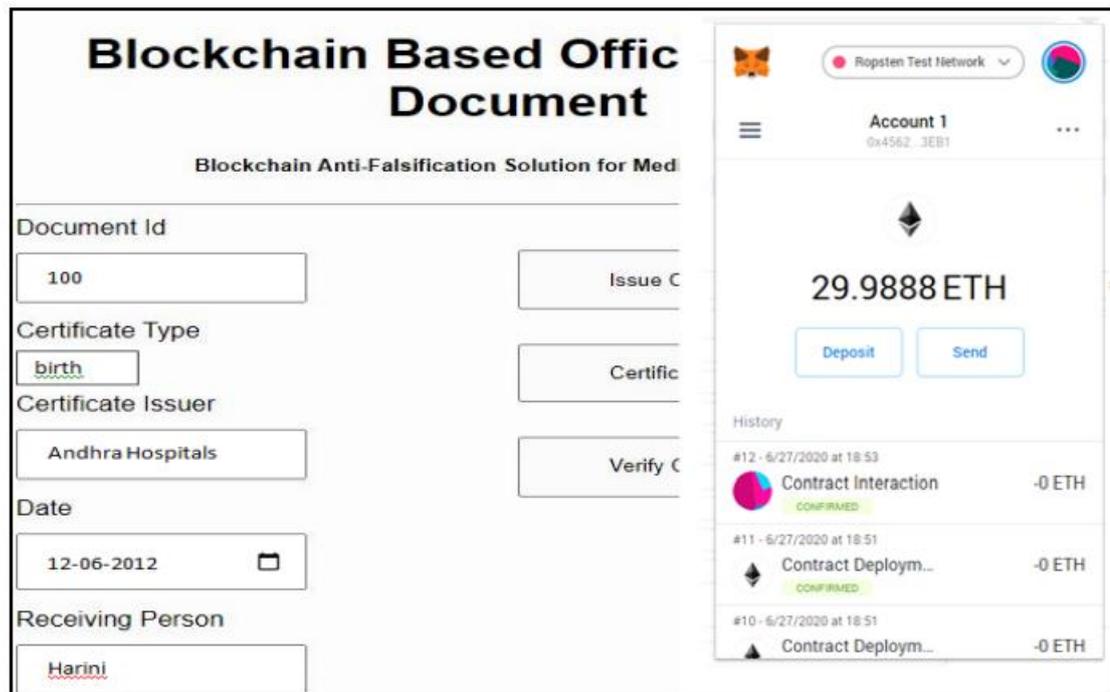


Figura 3.13 Modelo de contrato inteligente en hospital (Rupa et al.,2021)

Año 2023

En la India se analizaron las oportunidades de implementación de BlockChain en la Sociedad 5.0, donde cabe destacar el uso de contratos inteligentes para establecer reglas y automatizar procesos; por ejemplo, al acercarse al monto presupuestado para los costos de electricidad, se puede programar que se apaguen los aires acondicionados de forma automática (Dananjayan et al., 2023).

Año 2024

En Austria, investigadores analizaron las aplicaciones del Blockchain en la manufactura, considerando la sostenibilidad ambiental, utilizando el ejemplo de cómo al utilizar Blockchain se mejora la puntualidad de los vuelos y optimiza la carga de los aviones de carga, reduciendo aún más el consumo de combustible y aumentando la carga de los aviones(Kopeinig et al., 2024).

3.5. Almacén 5.0

En los últimos años, las industrias se han dado cuenta que no es posible optimizar los almacenes centrándose únicamente en las nuevas posibilidades tecnológicas. Por el contrario, también debe tenerse en cuenta la parte social de los sistemas sociotécnicos para evitar resultados subóptimos. La información disponible a partir de sistemas que combinan sensores y software junto con la información generada por la

tecnología de automatización se utiliza para ayudar a los humanos a obtener una mejor visión general del estado actual de un almacén y para apoyar y automatizar tareas cognitivas. Esta información también facilita una mayor automatización de las tareas físicas, lo que da lugar a una transformación de los sistemas automatizados en autónomos (Winkelhaus & Grosse, 2022).

Año 2024

En Alemania se realizó un análisis de contenido para identificar las tecnologías disponibles para sustituir a los operadores en las tareas repetitivas en la preparación de pedidos en los almacenes, ya que es un proceso logístico que requiere mucha mano de obra y mucho tiempo y que repercute significativamente en la eficiencia de las cadenas de suministro (Grosse, 2024)., un ejemplo de ello se muestra en la figura 3.14

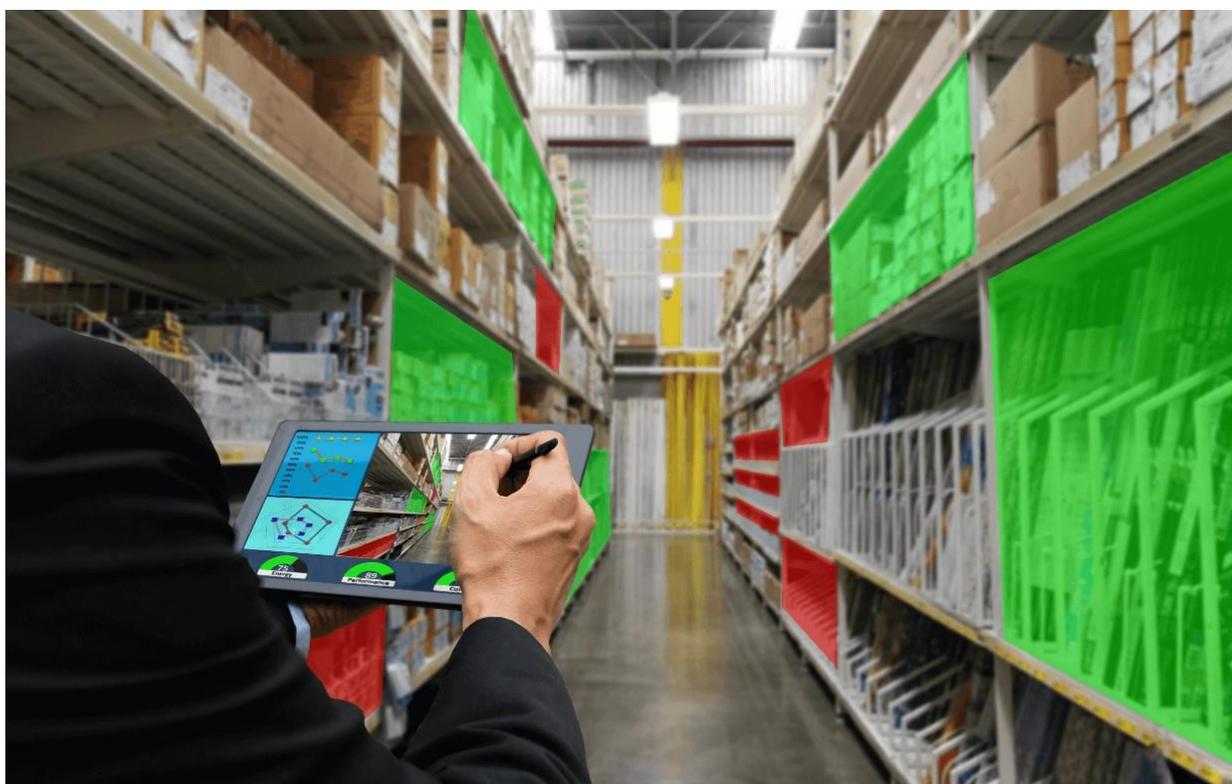


Figura 3.14 Ejemplo de almacén inteligente (Transition technologies,2020)

En Grecia, se investigaron los retos, tendencias y enfoques para poder automatizar las tareas de control de inventarios en los almacenes, el cual es uno de los procesos más complejos y que más tiempo y recursos consume en los almacenes modernos es el recuento de existencias, comúnmente conocido como recuento de SKU (unidades de mantenimiento de existencias) en el almacén. El recuento de las SKU lo suelen realizar trabajadores empleados en el almacén, utilizando un dispositivo de escaneo manual o contando manualmente las SKU en la zona de palés (Daios et al., 2024).En este



Tendencia 1: Fábricas Inteligentes

trabajo, se analizó la implementación de la tecnología i-CountAIR, el cual realiza un conteo de inventario mediante la utilización de drones y robots en piloto automático.

Entre los ejemplos de implementaciones de sistemas de drones para control de inventarios, los cuales se muestran en la Figura 3.15, cabe resaltar el de GEODIS y DELTA, quienes en el año 2018 lanzaron un sistema de gestión completamente automático, donde cada uno de los drones tenían capacidad de más de 1,000 horas de vuelo, combinado con un robot a nivel de suelo, equipado con cuatro cámaras de alta definición (Post & Parcel, 2018). En 2023 la empresa NOKIA lanzó al mercado su Servicio Autónomo de Vigilancia Industrial (AIMS por sus siglas en inglés) quienes destacan la interfaz amigable del sistema, que les permite a los operadores obtener un recuento diario de las existencias en el almacén, así como el análisis de faltantes y datos históricos (Heitlinger, 2023).

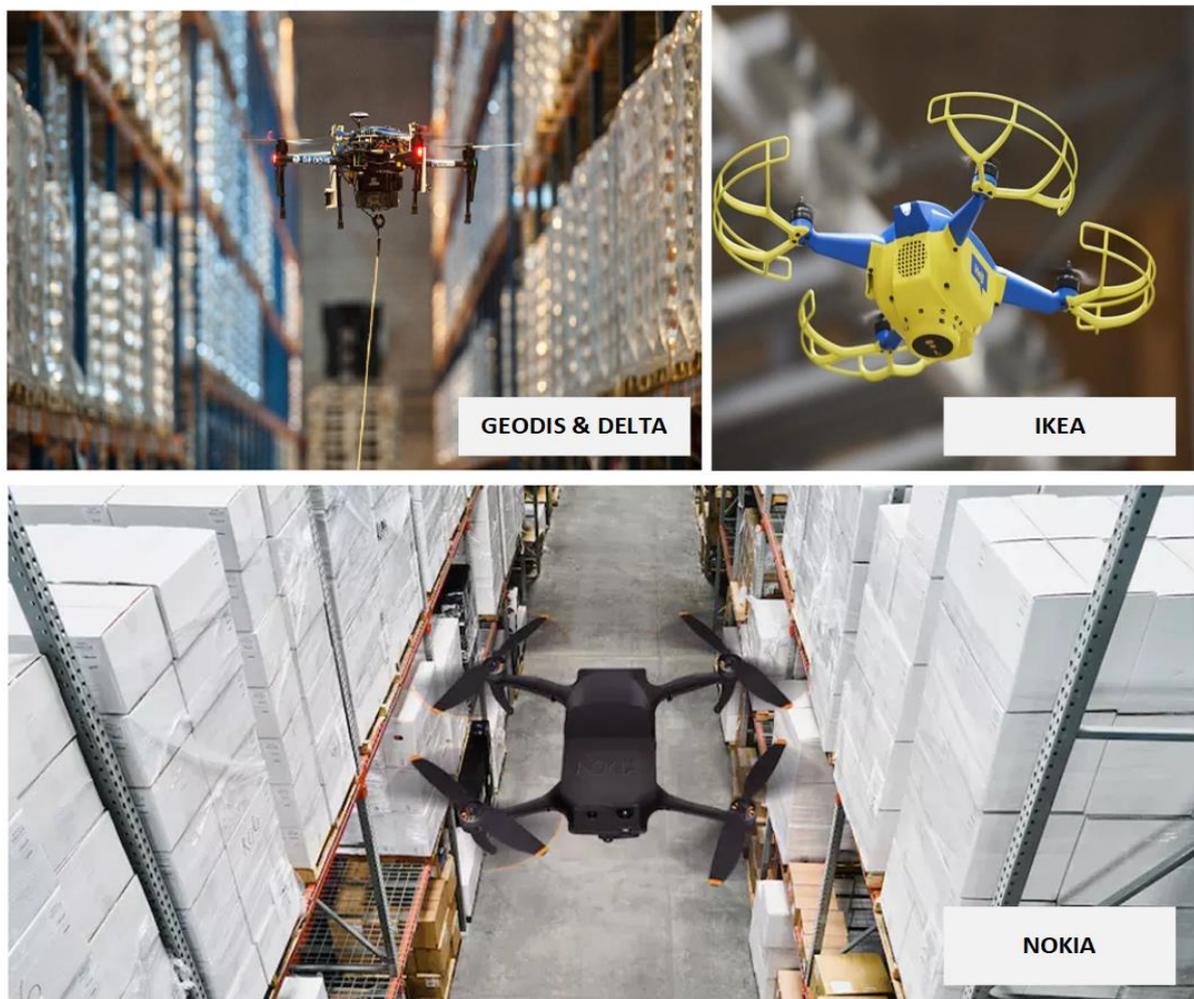


Figura 3.15 Ejemplos de drones utilizados para el control de inventarios en almacenes (Elaboración Propia)

En el caso de IKEA, el grupo Ingka y el equipo de desarrollo grupo Inter IKEA, junto con Verity, un proveedor de sistemas de drones para interiores, empezaron a desarrollar en el año 2021 una solución de drones totalmente autónoma para hacer un seguimiento del inventario y mejorar el bienestar de sus colaboradores en planta; donde culminó con su lanzamiento en el año 2023, donde a partir de esa fecha la planta cuenta con más de cien drones realizando control de inventario en 16 distintas locaciones, como ser Bélgica, Croacia, Eslovenia, Alemania, Italia, Países Bajos y Suiza (Ingka, 2023).



Capítulo 4. Tendencia 2: Integración Hombre-Maquina

Aunque es bien sabido que la integración hombre-máquina debería superar el poder de la inteligencia humana o de la máquina por sí solas, los avances en la armonización de la interacción inteligente entre el hombre y la máquina han sido lentos, en parte debido a la brecha existente entre el pensamiento intuitivo habitual del ser humano y el pensamiento lógico del ordenador en el marco tradicional de la IA (Yin et al., 2015).

En los ejemplos de estudios sobre formas de integrar a los hombres y maquinas en los procesos logísticos, se destacan los sistemas colaborativos a través de la implementación de realidad virtual (RV)(Cimini et al., 2022). A través de la integración profunda de la RA y la RV con equipos inteligentes, los seres humanos pueden colaborar para llevar a cabo operaciones mineras con equipos inteligentes, mientras que la RV y la RA centradas en el ser humano ayudan a los operarios a asimilar más información, tomar las decisiones correctas, realizar inspecciones e interactuar con los equipos(Xie et al., 2022).

Expertos de la industria han publicado reportes sobre las innovaciones tecnológicas que están revolucionando la integración hombre máquina en diferentes industrias (Cohen, 2024), las cuales se describen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Innovaciones tecnológicas que ayudan a la Integración Hombre Máquina (IHM)
(Fuente: Cohen ,2024)

Tendencia	Ejemplo
1. Integración de la pantalla táctil para mejorar la experiencia del usuario	Las interfaces de pantalla táctil se han convertido en omnipresentes en el mercado de IHM ofreciendo controles intuitivos e interactivos a los usuarios. Tanto en la maquinaria industrial como en la electrónica de consumo, las pantallas táctiles ofrecen una experiencia fácil de usar con gestos familiares como el toque y el deslizamiento.
2. Adopción de interfaces de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV)	La RA superpone información digital al entorno físico, proporcionando datos e instrucciones en tiempo real a los operarios. La RV, por su parte, sumerge a los usuarios en un entorno simulado con fines de formación y simulación.

Tendencia	Ejemplo
<p>3. Controles activados por voz y procesamiento del lenguaje natural</p>	<p>Los controles activados por voz mediante procesamiento del lenguaje natural (PLN) están ganando terreno en el mercado de las interfaces hombre-máquina, ya que ofrecen un funcionamiento manos libres y una mayor accesibilidad. Los usuarios pueden interactuar con máquinas y dispositivos mediante comandos de voz, lo que hace que las operaciones sean más eficientes y cómodas. El mercado está experimentando avances en los algoritmos de PLN que permiten a las máquinas entender y responder al lenguaje natural, mejorando la experiencia del usuario.</p>
<p>4. Expansión de la tecnología de reconocimiento de gestos</p>	<p>La tecnología de reconocimiento de gestos se está convirtiendo en una tendencia destacada en el mercado, ya que permite a los usuarios controlar dispositivos con simples movimientos de la mano o gestos. Esta tecnología es especialmente útil en interfaces de automoción, hogares inteligentes y aplicaciones industriales en las que es esencial tener las manos libres</p>
<p>5. Integración de la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (AM)</p>	<p>La Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (ML) están transformando las HMI al permitir interfaces predictivas y adaptativas. Las IHM con IA pueden anticiparse al comportamiento del usuario, aprender de sus interacciones y personalizar la interfaz en función de sus preferencias. Los algoritmos de aprendizaje automático mejoran la precisión del reconocimiento de gestos, los comandos de voz y las alertas de mantenimiento predictivo.</p>
<p>6. Ciberseguridad y protección de datos</p>	<p>A medida que las IHM están más interconectadas y se basan más en los datos, la ciberseguridad y la protección de datos son preocupaciones primordiales. El mercado de IHM está poniendo un énfasis significativo en la aplicación de medidas de ciberseguridad robustas para salvaguardar los datos sensibles y evitar el acceso no autorizado. Esto incluye tecnologías de cifrado, protocolos de comunicación seguros y mecanismos de autenticación. Los fabricantes también se están centrando en el diseño de IHM con funciones de seguridad integradas para mitigar las amenazas cibernéticas.</p>
<p>7. El cambio hacia las IHM móviles y la supervisión remota</p>	<p>Las IHM basadas en dispositivos móviles y las soluciones de supervisión remota están ganando popularidad en el mercado, ya que permiten a los usuarios controlar y supervisar máquinas y procesos desde cualquier lugar. Con el auge de los dispositivos IoT (Internet de las cosas), los usuarios pueden acceder a interfaces IHM en sus smartphones o tabletas, proporcionando datos y alertas en tiempo real. Esta tendencia permite la resolución remota de problemas.</p>



Tendencia 2: Integración Hombre-Máquina

En el caso de la revisión bibliográfica siguiendo la metodología PRISMA, se identificaron los países que han generado estudios sobre la implantación de la Integración Hombre máquina en la logística, los cuales tal y como se observan en la figura 4.1, se atribuyen a Europa y Asia.

Publicaciones de Integración hombre-máquina por País



Figura 4.1 Distribución geográfica de los estudios sobre Integración Hombre Máquina

Posteriormente se procedió al análisis de las publicaciones, con el objetivo de agruparlas de acuerdo con su contenido y analizar las investigaciones más relevantes, donde se identificaron 7 categorías, cuya proporción se muestra en la figura 4.2.

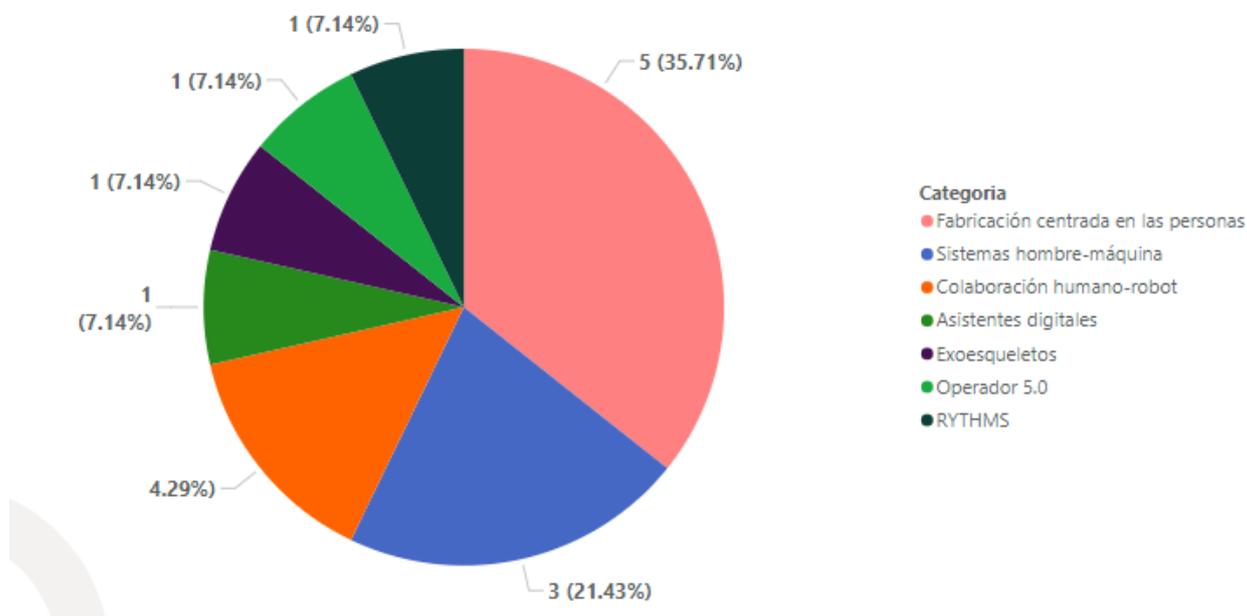


Figura 4.2 Aplicaciones de la Integración Hombre Máquina

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las aplicaciones más relevantes de la Integración hombre máquina en la implementación de la logística 5.0, los cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:

4.1. Fabricación centrada en las personas

Año 2021

Se analiza las implicaciones del modelo de vida y trabajo noruego. El «modelo laboral noruego» es un término utilizado para describir lo que suele caracterizar la organización de la vida laboral en Noruega. Una característica importante del modelo es la cooperación y el respeto mutuo entre empresarios y trabajadores, sindicatos, asociaciones de trabajadores y el gobierno (University of Oslo, n.d.).

El modelo noruego otorga al operador autonomía y responsabilidad para elaborar los planes operativos y tomar medidas correctoras cuando surjan imprevistos. El principios y mecanismos del modelo noruego para desarrollo de competencias, altos niveles de confianza, espíritu de equipo y la comunicación de alta calidad refuerzan la autonomía y autonomía y responsabilidad del operador (Arica et al., 2021).



Año 2023

En Alemania se realizó un análisis sobre el papel de la fabricación centrada en las personas en el diseño de los sistemas logísticos, en el contexto de la transición hacia la industria 5.0. La ausencia reconocida de centricidad humana, resiliencia y sostenibilidad en el pensamiento I4.0 ha llevado a la Comisión Europea a introducir la visión I5.0, con el objetivo explícito de garantizar que los nuevos sistemas de producción y logística proporcionen un beneficio tanto para las empresas como para la sociedad. En concreto, en 2021, la Comisión Europea empezó a promover la visión I5.0, en la que «el bienestar del trabajador se sitúa en el centro del proceso de producción y utiliza las nuevas tecnologías para proporcionar prosperidad más allá del empleo y el crecimiento, respetando al mismo tiempo los límites de producción del planeta (Grosse et al., 2023).

En China se estudió el papel de la logística 5.0 en el proceso de transición de redes inteligentes a ecosistemas sostenibles a través de sistemas operativos orientados a humanos (HOOS), donde los operarios o pueden interactuar directamente con las máquinas de forma humana, para obtener en tiempo real información logística como detalles del pedido, estado del inventario, ruta de transporte, etc. Además puede identificar y comprender las preferencias y hábitos de los de los operadores o gestores logísticos para ofrecerles un servicio personalizado (Li et al., 2023).

Dentro de los sistemas operativos orientados a humanos hay tres tipos de humanos: digital, robótico y biológico, los cuales realizan alrededor del 80%, 15% y 5% de las futuras tareas logísticas, respectivamente (F.-Y. Wang et al., 2023).

Dentro de los sistemas logísticos orientados a humanos se generaron tres clasificaciones, basados en el modo de interacción entre los tipos de humanos, los cuales se resumen en la Tabla 4.2 (Li et al., 2023):

Tabla 4.2 Modos de interacción en sistemas orientados a humanos en la logística 5.0
(Fuente: Li et al.,2023)

Modo Autónomo	Este modo es adecuado para las tareas logísticas basadas en procesos, como el almacenamiento de mercancías, la gestión de almacenes, etc. Estas tareas son realizadas principalmente por humanos digitales y humanos robóticos bajo la supervisión de humanos biológicos.
Modo Paralelo	Este modo es adecuado para las tareas logísticas que requieren una participación humana mínima. En este caso, los humanos biológicos tienen que trabajar junto con los humanos digitales y los humanos robóticos en lugares remotos o en nubes, para supervisar a los humanos digitales y a los humanos robóticos.
Modo experto o de emergencia	Este modo es adecuado para las tareas logísticas en situaciones de emergencia de las que no pueden ocuparse los humanos digitales o los humanos robóticos. Los humanos biológicos o los expertos deben estar siempre preparados para estas situaciones y ser capaces de manejarlas de inmediato.

En el caso de Italia, expertos desarrollaron un marco de referencia para comprender mejor los factores humanos que intervienen en las tareas y las tecnologías que deben adoptarse con el fin de evitar posibles problemas críticos relacionados con los cambios tecnológicos; por ejemplo, la aceptabilidad, la necesidad de inversiones adicionales en formación o la identificación de las competencias necesarias (Lagorio et al., 2023).

4.2. Colaboración humano-robot

Los cobots o robots colaborativos, están diseñados para realizar tareas repetitivas, poco ergonómicas o que representan riesgos elevados para los trabajadores. Los cobots se diferencian de los robots industriales convencionales en que están pensados para funcionar de forma segura y eficiente junto con trabajadores humanos, lo que proporciona una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el lugar de trabajo (Patil et al., 2019).

De acuerdo con la norma ISO 10218 sobre los estándares de seguridad para robots, se muestran cuatro posibles escenarios para la colaboración con robots en la figura 4.3 (García et al., 2023):

- Parada de control nominal de seguridad (a),
- Guiado manual (b),
- Control de velocidad y separación(c),
- Limitación de fuerza y par(d)



Tendencia 2: Integración Hombre-Máquina

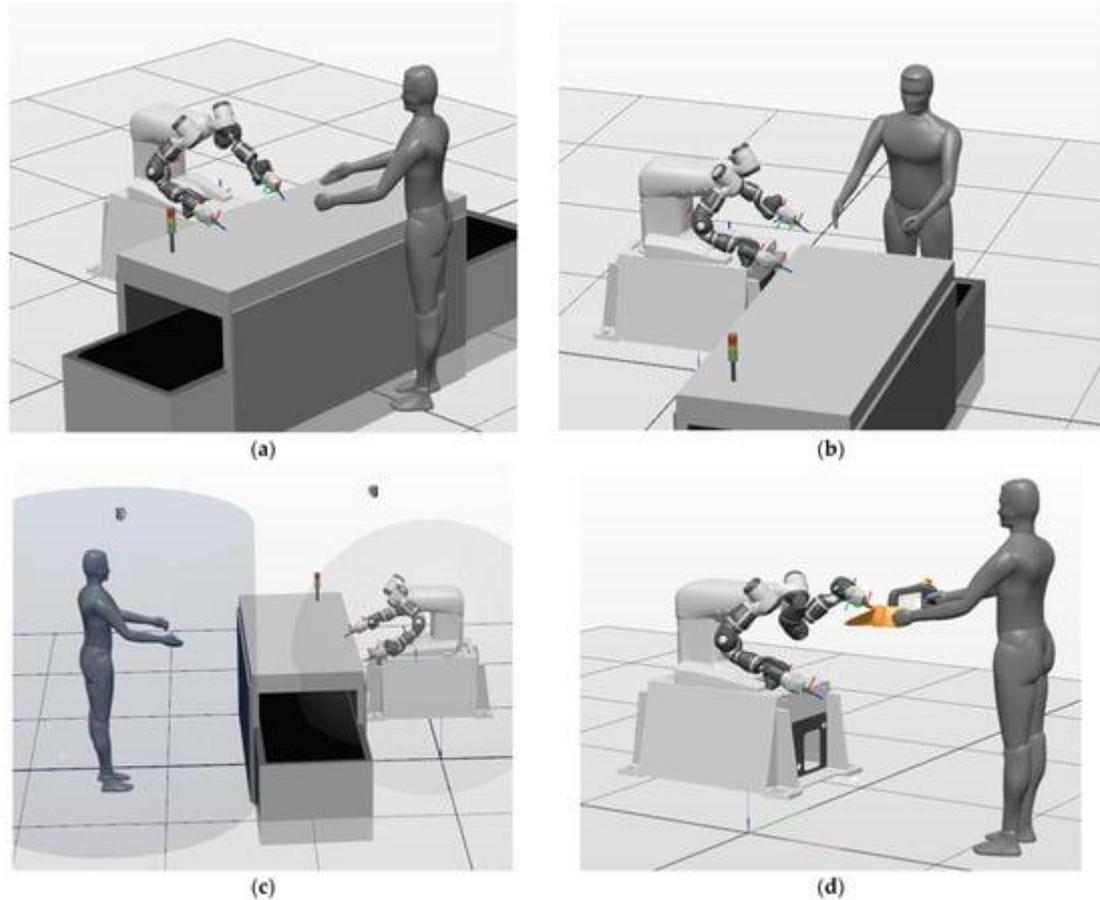


Figura 4.3 Escenarios de colaboración con cobots (García et al.,2023)

Año 2022

En Irlanda, se desarrolló un estudio de caso en la industria manufacturera, donde se entrevistó a una serie de expertos en el sector de robots cooperativos (cobots). Mediante la aplicación de un cuestionario donde se evaluaba entre otros aspectos los siguientes (Doyle-Kent & Kopacek, 2022): la clasificación de la empresa, el tipo de producto, las áreas en las que trabaja actualmente la robótica colaborativa, el tipo de trabajo que realiza la robótica colaborativa, las ventajas y desventajas, la facilidad de instalación y uso, la formación de los operarios y la automatización de los procesos empresariales de la empresa. Entre los aspectos más relevantes encontrados el estudio de caso se resaltan los siguientes:

- La mayoría de los Cobots trabajan en operaciones de recogida y colocación, creación de prototipos, embalaje y paletización, así como en el cuidado de máquinas. Se trata de un dato importante, ya que no son operaciones en las que los Cobots desplieguen toda su capacidad. Actualmente, en Irlanda, los robots se utilizan en aplicaciones secuenciales y no de forma verdaderamente colaborativa.

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

- Entre las ventajas identificadas por los entrevistados sobre la implementación de cobots se mencionaron una serie de beneficios mencionados por parte de los operadores desde la implementación de los cobots (Doyle-Kent & Kopacek, 2022):
 - Reducción de la monotonía del trabajo humano al asumir el Cobot estas tareas aburridas
 - Trabajo más interesante al trabajar con Cobots,
 - Reducción de los riesgos para la salud y la seguridad al asumir el Cobot estas tareas con mayores riesgos,
 - Mejora de la ergonomía en el lugar de trabajo debido a la versatilidad del Cobot.
 - Mejora de la satisfacción laboral debido a las nuevas habilidades técnicas adquiridas.
 - Mejora de las oportunidades de empleo gracias al trabajo con robots.
 - Mejora de la interacción social con los compañeros de trabajo y disminución del aislamiento.
 - Mejora salarial gracias al mayor valor del trabajo percibido por el empleador.

Un caso de éxito de la implementación de cobots se observó en el proceso de envasado al vacío en el proceso de corte de jamón en la empresa Covap, que permitió mejorar la eficiencia de la operación, permitiendo a los operadores trabajar mano a mano con el robot en un espacio reducido (Interempresas, 2020).



Figura 4.4 Cobot en operación de envasado al vacío (Interempresas,2020)



Año 2023

En Polonia, se realizó un estudio para identificar el papel que juegan los operadores mayores de 50 años, conocidos también como la Generación de Plata, en la gestión sostenible del capital humano en la nueva industria 5.0; dado que alrededor del mundo se está experimentando un fenómeno de población envejecida, que está obligando a los trabajadores a mantenerse laboralmente activos durante mayor tiempo, expertos consideran que es de suma importancia remover las barreras tecnológicas y sociales que les dificulten seguir trabajando.

De este estudio se concluyó que las tecnologías modernas no sólo como un punto de partida y un potencial para aumentar la eficacia de la empresa, sino, sobre todo, aplicar un enfoque centrado en el ser humano que sitúe las necesidades e intereses humanos básicos en el centro del proceso de producción. En otras palabras, en lugar de preguntar qué se puede hacer con la nueva tecnología, preguntar qué puede hacer la tecnología por nosotros. En lugar de adaptar las capacidades de los trabajadores a las necesidades de una tecnología que evoluciona rápidamente, utilizar esa tecnología para adaptar el proceso de producción a las capacidades y necesidades del trabajador (Laskowska & Laskowski, 2022).

4.3. Sistemas hombre-máquina

Año 2023

En Alemania se llevó a cabo un estudio enfocado en sistemas de información multimodales para asistir al ser humano en los procesos de producción y logística, que resultó en el desarrollo de un concepto para un sistema de información multimodal adaptativo estacionario, el cual es el primero en su tipo, al no existir registros previos de sistemas basados en la combinación de un escáner 2D/3D y la inteligencia conversacional, y que puede utilizarse para mejorar la interacción hombre-máquina en el contexto de la Industria 5.0 (Böroid et al., 2023), cuyo prototipo se muestra en la figura 4.5.

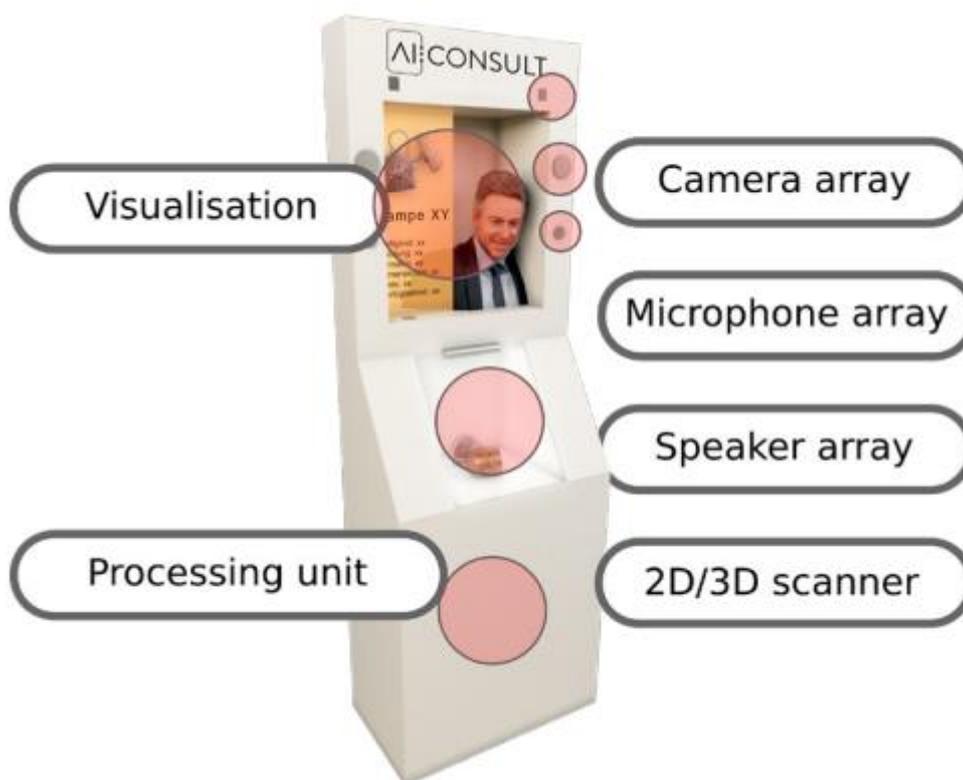


Figura 4.5 Modelo del sistema asistente multimodal (Böroid et al.,2023)

Año 2024

Expertos de Alemania desarrollaron un estudio de caso para identificar los requerimientos de un sistema de interacción hombre máquina que sea funcional en las operaciones de producción y logística en el contexto de la industria 5.0; para la identificación de estos factores se analizaron dos proyectos (Panter et al., 2024) :

- Optimización del mantenimiento de aerogeneradores mediante métodos de tratamiento de imágenes en dispositivos móviles de realidad aumentada; donde se utilizaron gafas de realidad aumentada y teléfonos inteligentes.
- Diseño de una línea de montaje flexible digital y asistida por IA para aumentar la innovación de productos y procesos; a través del uso de pantallas táctiles.

A través de un análisis comparativo entre los requerimientos de la I4.0 e I5.0, se identificaron los siguientes requerimientos:

- Principios éticos,
- Ergonomía,
- Empoderamiento,
- Diseño centrado en el ser humano,
- Interfaces e interacción intuitivas,



Tendencia 2: Integración Hombre-Máquina

- Colaboración

4.4. Asistentes digitales

En Alemania, expertos realizaron un análisis sobre los beneficios, aplicaciones y desafíos de implementar asistentes digitales en las operaciones logísticas (Zheng et al., 2024).

Los Asistentes Digitales, se definen como bots que interactúan con los usuarios mediante mensajes de texto o de voz. Un asistente digital puede ser un chatbot, un agente de respuesta de voz interactiva (IVR) o ambos. Los asistentes digitales pueden utilizar el procesamiento del lenguaje natural (PLN) para interpretar los mensajes y proporcionar la respuesta adecuada al usuario (IBM, 2024).

Como resultado del estudio, se identificaron las formas en las que la implementación de asistentes digitales puede reducir el esfuerzo humano en las tareas de gestión de la información, operaciones de colaboración y transferencia de conocimiento (Zheng et al., 2024), los cuales se resumen en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Aplicaciones de los Asistentes Digitales en la logística 5.0 (Fuente: Zheng et al., 2024)

Campo de Aplicación	Tipo de Aplicación de Asistentes Digitales
Gestión de la información	Consulta de información sobre productos/ingeniería
	Interacción máquina/sistema de información
	Gestión de la información del taller
	Gestión de la información de mantenimiento
	Gestión de la información sobre la demanda
Operaciones de colaboración	Desarrollo de productos en colaboración entre humanos e IA
	Planificación y control de la producción
	Realización conjunta de tareas
	Colaboración humano-robot
	Mantenimiento colaborativo
	Control de calidad mejorado
Transferencia de conocimiento	Asistencia en la preparación de pedidos
	Formación en procesos/procedimientos de producción
	Formación en procesos/procedimientos de mantenimiento

Entre los beneficios de la implementación de los AD, se mencionaron la reducción de la carga de trabajo, tanto cognitiva como física en los trabajadores, así como la mejora de las condiciones psicosociales; así como un incremento de eficiencia

y flexibilidad en sus tareas diarias; sin embargo, dado que esta tecnología se sigue perfeccionando se identificaron como retos para la adopción en los procesos logísticos los desafíos tecnológicos, como ser la precisión y confiabilidad, la transparencia de los datos y la compatibilidad con los marcos legales de cada país.

4.5. Exoesqueletos

Los exoesqueletos son dispositivos vestibles que pueden asistir, rehabilitar o aumentar las capacidades del cuerpo humano. Estos dispositivos se han implantado ampliamente en médicos y militares, y cada vez son más comunes en la industria (Ahmad et al., 2024).

Las tecnologías de exoesqueletos aportan nuevas capacidades y mejoran la resistencia y la seguridad en entornos industriales. Están diseñadas para aumentar la productividad industrial y pueden prevenir lesiones comunes en el lugar de trabajo. Aunque no son un concepto nuevo, la integración de exoesqueletos en plantas no es una cuestión trivial (Karvouniari et al., 2018); en la figura 4.6 se muestra como el uso de un exoesqueleto permite al operador movilizar un palet dentro de un almacén.



Figura 4.6 Ilustración de exoesqueleto para manipulación de cargas (Iberdrola,2024)

Expertos han identificado seis tipos de tareas para las cuales los operadores utilizan los exoesqueletos en los procesos logísticos (Ashta et al., 2023):

- Montaje a nivel de cuerpo.
- Montaje elevado.
- Fabricación.
- Manipulación de materiales.
- Aprovisionamiento de pedidos.
- Tareas relacionadas con el movimiento.

Tendencia 2: Integración Hombre-Máquina

En Italia, (Karvouniari et al., 2018) se estudió la forma de integrar el uso de los exoesqueletos y el uso de realidad virtual en las líneas de producción, para la formación de operarios en el uso de los exoesqueletos, simulando diferentes escenarios en el entorno virtual, así como alertas de seguridad. En este proyecto, la puesta en marcha de un exoesqueleto y la validación de su diseño se llevan a cabo mediante la visualización de prototipos y diversas evaluaciones en el taller virtual; la mejora del lugar de trabajo a través de la formación de los trabajadores en el uso correcto del exoesqueleto se lleva a cabo mediante evaluaciones ergonómicas que evitan situaciones peligrosas.

Otro ejemplo del uso de exoesqueletos y la realidad aumentada es el proyecto desarrollado en colaboración de la Universidad de Sungkyunkwan en Corea del Sur y la Facultad de Salud Pública y Ciencias Humanas en Oregón, Estados Unidos (Kong et al., 2023); donde se realizaron una serie de tareas con el exoesqueleto, y posteriormente se repitieron las mismas tareas sin el uso de este, para realizar un análisis comparativo sobre la comodidad de las posturas realizadas por cada uno de los veinte sujetos de prueba, como se muestra en la figura 4.7.

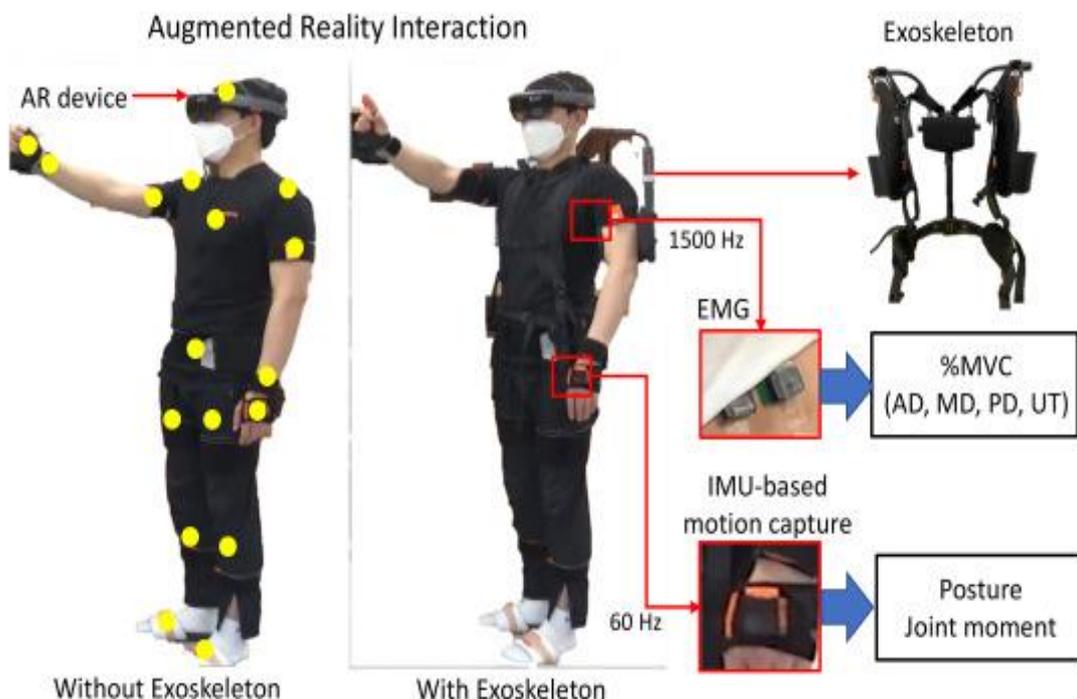


Figura 4.7 Montaje de dispositivo de realidad aumentada y exoesqueleto (Kong et al., 2023)

4.6. RHYTHMS

Es un concepto desarrollado por expertos de China, para llamar un marco sistemático de sincronización de los sistemas hombre máquina basado en la prevención de riesgos laborales (Ling et al., 2024). Este proyecto se desarrolló mediante un estudio

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

de caso en una compañía de la industria de montaje de dispositivos electromecánicos, centrándose específicamente en el sector de motores, servomotores y controladores de motores, en un mercado caracterizado por la producción de «alta variedad y bajo volumen», con una necesidad de ciclos de vida más cortos para atender al mercado personalizado.

En la aplicación de RHYTHMS se combinan modelos biomecánicos basados en datos antropométricos en tiempo real con principios ergonómicos para obtener dimensiones de diseño de puestos de trabajo adecuadas para las personas. Estos parámetros específicos sirven para que el puesto de trabajo inteligente se adapte automáticamente al operario, minimizando de esta forma la carga de trabajo mediante una adaptación personalizada y situando el bienestar humano en el centro del proceso de fabricación, como parte de los principios de la I5.0; cuyo prototipo se muestra en la siguiente figura.

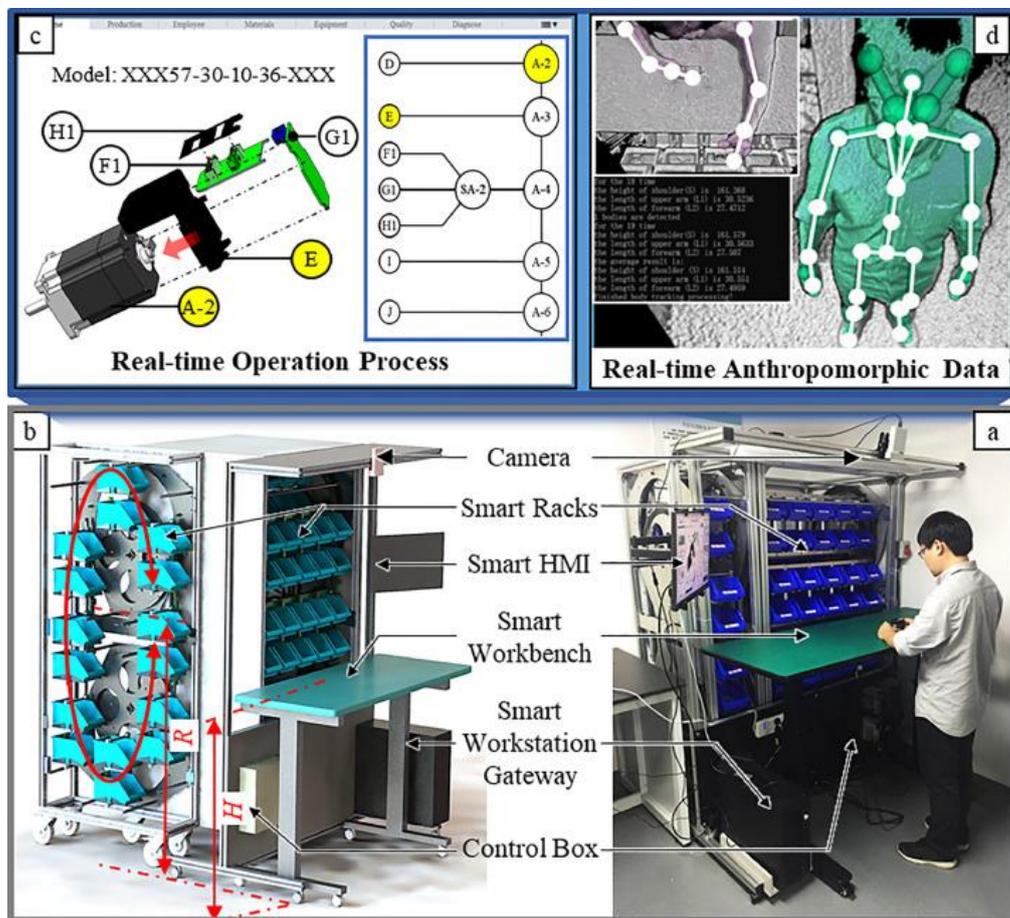


Figura 4.8 Prototipo experimental para análisis de desempeño del sistema RHYTHMS (Ling et al,2024)

En la figura 4.6 se muestra el prototipo construido, donde se puede observar en la parte superior de la estación de trabajo un set de cámaras cuya función es capturar y analizar el estado de los procesos operativos en tiempo real; también cuenta con una serie de racks inteligentes, las cuales son alimentadas de forma automatizada.



Tendencia 2: Integración Hombre-Máquina

La tercera parte es una interfaz hombre-máquina inteligente, que se despliega para apoyar la asignación dinámica de tareas y la guía de operaciones adaptativa según los procesos de ensamblaje en tiempo real. La siguiente parte es un banco de trabajo inteligente, cuya altura puede adaptarse de forma autónoma a cualquier basándose en datos antropométricos en tiempo real.

Capítulo 5. Tendencia 3: Transporte 5.0

El Transporte 5.0 se basa en la inteligencia paralela (IP) como fundamento teórico, con las sociedades artísticas-experiencias informáticas-ejecución paralela como método básico, y los sistemas de transporte ciber-físico-sociales como marco de referencia, permitiendo al sistema de transporte una transición fluida hacia un paradigma de transporte inteligente ético, responsable y sostenible (Ma et al., 2023).

De acuerdo con los autores, el transporte 5.0 tiene una visión centrada en ocho aspectos: eficiencia, fiabilidad, sostenibilidad, servicio, equidad social, beneficios económicos y cumplimiento de la ética y las responsabilidades (Ma et al., 2023); e identificaron 6 tecnologías que harán posible el avance hacia un nuevo modelo de transporte, en resonancia con el paradigma de la Sociedad 5.0, y que se resumen en la Tabla 5.1, mostrada a continuación.

Tabla 5.1 Tecnologías que hacen posible el Transporte 5.0 (Fuente: Ma et al.,2023)

Tecnología	Descripción
Robots de transporte en paralelo	Los robots paralelos son una combinación de robots físicos, robots de software, sistemas experimentales artificiales, Internet de las Cosas y bases de datos. Los robots de transporte paralelos han añadido control virtual y ejecución paralela en comparación con los robots máquina ordinarios.
Tecnología de colaboración vial entre vehículos	Desarrollo de tecnologías como los vehículos aéreos no tripulados y los vehículos conectados inteligentes. Se prevé que, en el futuro, los vehículos de transporte limpios se utilicen ampliamente en los sistemas de transporte.
Tecnología de conservación de energía y reducción de emisiones	Con el fin de mejorar aún más la sostenibilidad de los sistemas de distribución paralela. Las tecnologías de conservación de energía y reducción de emisiones consisten en varios tipos de vehículos, incluidos camiones eléctricos, camiones híbridos y camiones de combustible. Debido a la necesidad de recarga durante el uso de camiones eléctricos y camiones eléctricos híbridos, esto proporciona oportunidades para el uso de tecnologías de energía renovable y reduce aún más el daño al medio ambiente.



Tendencia 3: Transporte 5.0

Continuación de la Tabla 5.1 (Fuente: Ma et al.,2023)

Tecnología	Descripción
Diseño inteligente de vehículos basado en gemelos digitales	En términos de diseño inteligente de vehículos, tiene como objetivo predecir con precisión la capacidad de producción de la línea de producción mediante el establecimiento de un sistema gemelo digital para la línea de producción de automóviles.
Técnicas de simulación de impactos ambientales y sociales	Esta tecnología se utiliza para evaluar el impacto del sistema en el medio ambiente, su perjuicio para la sociedad humana y el grado de desgaste del sistema en las infraestructuras. Además, en el subsistema de conducción autónoma, esta tecnología también se utiliza para evitar obstáculos entre vehículos y peatones.

En Nueva Zelanda, se realizó un estudio sobre la ecologización del transporte en la construcción como factor de sostenibilidad (Dhawan et al., 2022), de acuerdo con los autores, el transporte de la construcción se realiza casi exclusivamente por carretera, uno de los modos menos sostenibles, con externalidades muy desproporcionadas en relación con su número. Por tanto, su optimización representa una gran oportunidad para la ecologización (descarbonización), con efectos potenciales de gran alcance. El concepto ASI (Evitar-Cambiar-Mejorar) considera la actividad, la estructura modal y la intensidad/eficiencia energética como componentes del carbono del transporte, proporcionando un marco de optimización fundamental.

En el caso de la revisión bibliográfica siguiendo la metodología PRISMA, se identificaron los países que han generado estudios sobre el transporte 5.0 en la logística, los cuales tal y como se observan en la figura 5.1, se atribuyen a Europa y Asia.



Tendencia 3: Transporte 5.0

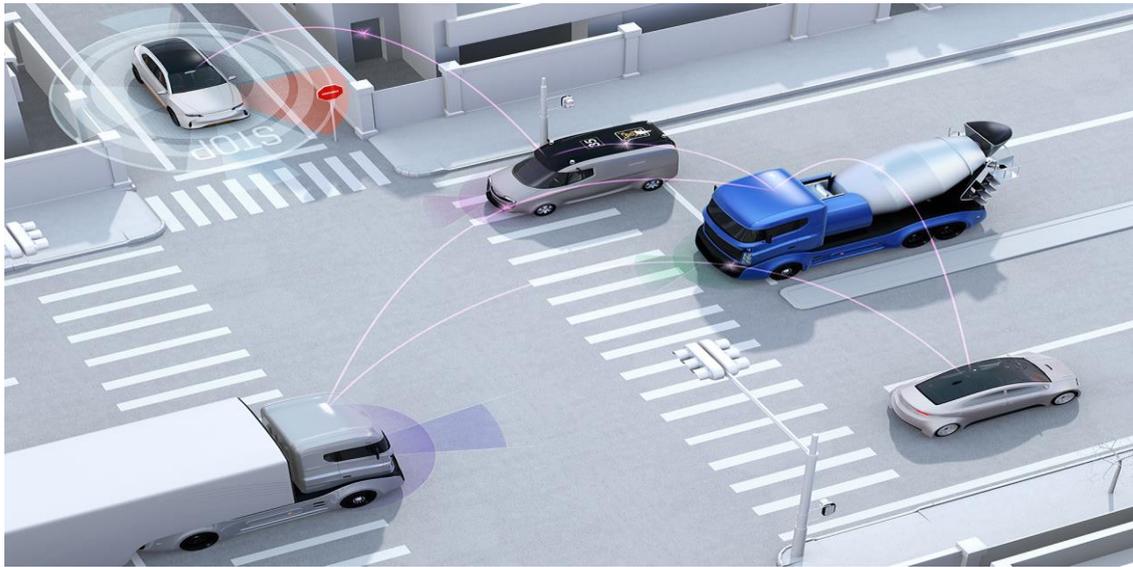


Figura 5.2 Diagrama de funcionamiento de vehículos conectados (Mazur, 2020)

Los semáforos pueden captar las señales individuales enviadas por los vehículos para determinar cuántos coches esperan y en qué dirección con mucha más precisión y eficacia que las placas de presión y los temporizadores. Coches y semáforos pueden incluso comunicarse hasta el punto de que, cuando el semáforo se pone en éste empieza a moverse automáticamente, y cuando se pone en rojo el coche aminora la marcha y se detiene (Mazur, 2020).

Año 2023

En China, se realizó un estudio, donde de acuerdo con los autores, en el contexto de la Industria 5.0, los vehículos aéreos no tripulados logísticos o drones basados en inteligencia artificial (IA) se han aplicado ampliamente en los sistemas de transporte inteligentes debido a sus ventajas de mayor velocidad, menor coste, más respetuosos con el medio ambiente y menor necesidad de mano de obra. Sin embargo, la mayoría de los modelos de entrega de drones logísticos existentes no han tenido en cuenta el consumo energético de los drones logísticos ni las ventanas de tiempo mixtas de los clientes, por lo que sus modelos no pueden aplicarse en sistemas de transporte prácticos (Du et al., 2023).

En España, se realizó un estudio sobre la aplicación del Internet de las Cosas para el posicionamiento y la integridad de los trenes en el sector ferroviario, mediante la implementación de un sistema de sensores inalámbricos que permite la localización de trenes y otros activos ferroviarios, lo que se traduce en una mejora de la seguridad, la fiabilidad y la capacidad en las líneas ferroviarias (Hernandez et al., 2023).

Año 2024

En Estados Unidos, investigadores proponen un marco de referencia para sistemas de localización cooperativa en el transporte 5.0, a través de un servicio autónomo descentralizado de transporte, donde cada agente de la red tiene flexibilidad para decidir si utilizar el servicio de localización (Gao et al., 2024).

En este sistema, cada vehículo posee su propio sistema de localización y puede recibir información de agentes vecinos, y su posición relativa puede obtenerse mediante algoritmos de estimación a bordo mediante sensores de alcance, aprovechando servicios proporcionados por otros agentes, o solicitando asistencia de infraestructura inteligente. Posteriormente, el vehículo conectado y automatizado lleva a cabo la localización cooperativa a nivel local, abordando cuestiones como el retardo temporal, la detección de fallos y el filtrado de la información en función de las características de la red.

5.2. Movilidad 5.0

La aparición de la movilidad sostenible, como confluencia entre sostenibilidad y movilidad en las economías en desarrollo, es necesaria para mitigar los efectos adversos de la contaminación y el consumo de recursos no renovables. Los vehículos eléctricos (VE) han surgido como instrumentos importantes hacia la movilidad sostenible debido a sus beneficios tanto económicos como medioambientales, que han sido elaborados en este estudio (Manohar et al., 2023).

Empresas como DHL han implementado vehículos eléctricos (ver figura 5.3) para las operaciones logísticas de última milla, con casos de éxito en Brasil, donde la empresa ha introducido en su flota camiones eléctricos refrigerados. Los vehículos realizan entregas en la región metropolitana de Louveira (interior de São Paulo), con temperatura monitoreada durante todo el trayecto. En promedio, por mes, se realizan 40 entregas a alrededor de 20 minoristas y distribuidores en un radio de hasta 75 km. La implementación de estos vehículos eléctricos, con capacidad de hasta tres toneladas de carga, ha implicado la reducción de aproximadamente un 38% de las emisiones de CO₂ (DHL, 2023).



Tendencia 3: Transporte 5.0



Figura 5.3 Vehículos eléctricos de DHL para logística de última milla (DHL,2023)

En el caso de España, en el año 2024, DHL Express anunció la incorporación de 46 furgonetas eléctricas Ford E-Transit a su flota de vehículos eléctricos para el reparto de última milla en España, con el objetivo de contar con el 75% de la flota de entrega y recogida urbana con cero emisiones en 2030, alineado con el objetivo de DHL Express a escala europea(Ford Media Center, 2024).

En España, también se han explorado otras alternativas, como el reparto en bicicleta. El área Metropolitana de Barcelona trabaja desde 2021 para crear siete centros de ciclo logística ubicados en seis municipios de la región. De acuerdo con la entidad, el 50 % del reparto de mercancías ligeras (y el 25 % de las pesadas) en zonas urbanas podría hacerse en bicicleta (BBVA, 2024).

Entre las empresas que realizan reparto de mercancía en bicicleta, se encuentran DHL,Urb-it, cargo bici, e incluso empresas como Aliexpress realizaron alianzas con globo para realizar una prueba piloto en ciudades como Madrid y Barcelona(Business Insider, 2020).



Figura 5.4 Reparto en bicicleta eléctrica (URB-it,2022)

En China, expertos estudiaron como la movilidad aérea avanzada es una innovación que en permitirá diversificar el transporte y la sociedad del futuro. De acuerdo con los autores la movilidad aérea avanzada representa la próxima generación de innovación aeronáutica, aportando opciones de transporte socialmente integradas a los servicios de carga, pasajeros y emergencias basados en la revolucionaria infraestructura de comunicaciones, navegación y vigilancia, utilizando el Sistema Mundial de Navegación por Satélite(Guo et al., 2024) .

5.3. Transporte Marítimo

El aspecto del transporte de la logística marítima se enfrenta a diversos retos y complejidades. Para garantizar la seguridad y la estabilidad, tecnologías de la información avanzadas como blockchain, datos AIS, big data e inteligencia artificial se integran en el proceso de transporte marítimo para la evaluación de riesgos. La continua progresión de la investigación en transporte promete proporcionar un apoyo indispensable para el desarrollo sostenible y el avance del sector de la logística marítima (Zhou et al., 2024).

En el transporte marítimo inteligente, una embarcación está equipada de cuatro elementos(Smart Port, 2019):

- Sistema de navegación inteligente, el cual recibe información a través de un sistema de sensores; los cuales generan a partir de la información recibida una imagen del mundo real.
- Sistema de orientación, donde la imagen creada y evaluada por el subsistema de navegación es utilizada por el subsistema de orientación para trazar el



Tendencia 3: Transporte 5.0

rumbo del buque, este sistema toma en cuenta varios elementos obstáculos cercanos (prevención de colisiones) y la ruta de origen a destino.

- Buque físico, para apoyar el sistema de toma de decisiones basado en software, se necesita hardware adicional para recoger datos, el cual proporciona la misma visión y capacidad de actuar en función de la información que un capitán.
- Sistema de control, el subsistema de control de un barco autónomo, también llamado controlador de movimiento es el que realmente dirige el barco en la dirección correcta. El sistema de control basado en software procesa los datos proporcionados por el software de generación de trayectorias, convirtiéndolos en órdenes para los distintos sistemas de posicionamiento del buque.

Entre los proyectos de transporte marítimo inteligente, se encuentra el CSIC (China), que lanzó el primer carguero no tripulado en el año 2017, Japón también ha puesto en marcha el proyecto Smart Ship Application Platform.



Figura 5.5 Carguero no tripulado de CSIC (CSIC,2017)

Europa ha puesto en marcha Munin, para desarrollar plenamente un vehículo automatizado antes del año 2035, este proyecto formado por ocho empresas asociadas dirigidas por el instituto alemán Fraunhofer y coordinadas en Suecia, ha invertido 12 millones de coronas noruegas (1,8 millones de dólares). La tarea de MUNIN consiste en determinar los factores que intervendrán en la operación automatizada de un carguero, los retos y obstáculos que entraña y la mejor manera de hacer el cambio de la navegación tripulada a la no tripulada.

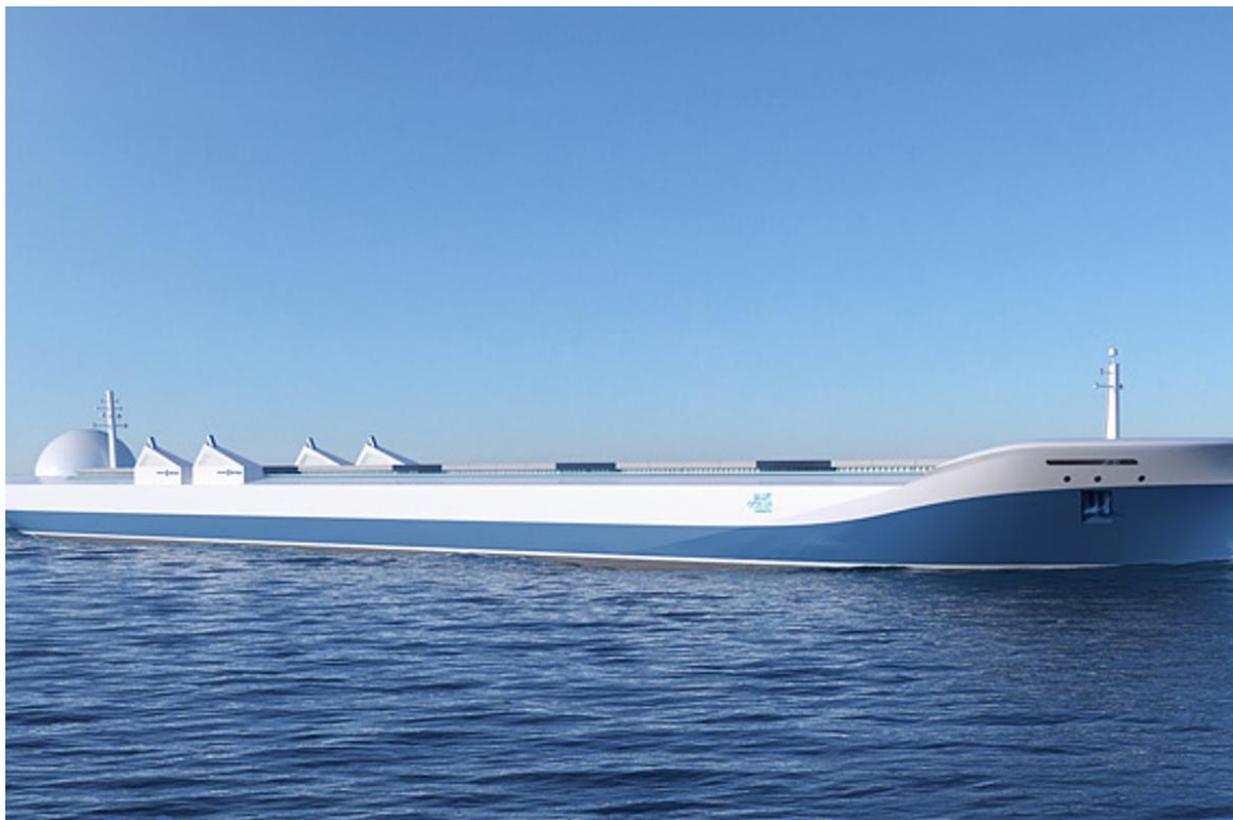


Figura 5.6 Prototipo de Buque autónomo propuesto por el proyecto MUNIN (Rolls Royce,2014)

Yara Birkeland y Kongsberg aspiran a sustituir 40.000 camiones produciendo conjuntamente un reparto marítimo automatizado, mientras que Hyundai (Corea) trabaja en la producción de la última tecnología para el transporte marítimo. Finlandia está creando la AAWA, integrada por empresas como Inmarsat y DNV-GL. Con otros grandes nombres como Maersk e IBM en la lista de inversores(Safety4sea, 2024).



Capítulo 6. Tendencia 4: Sostenibilidad

De acuerdo con la comisión Europea, la nueva estrategia industrial tendría que basarse en objetivos e indicadores totalmente nuevos para el rendimiento empresarial y la sostenibilidad en los modelos de negocio, en lugar de los indicadores principales de competitividad más bien «clásicos» consagrados en la Industria 4.0; expertos que apuestan por la industria 5.0 afirman que las tecnologías digitales podrían aprovecharse para cumplir los compromisos climáticos, llevando de la mano el desarrollo digital y lo ecológico. La Inteligencia Artificial (IA), por ejemplo, puede y debe diseñarse y desplegarse en favor de la sostenibilidad, en lugar de ser independiente o ignorarla (European Commission, 2022).

Al analizar los temas recurrentes estudiados por los expertos en el ámbito de la sostenibilidad y la industria 5.0, se puede observar en la figura 6.1 que los estudios apuntan a un mayor interés en la economía verde, seguido de la logística inversa y cadenas de suministro verde.

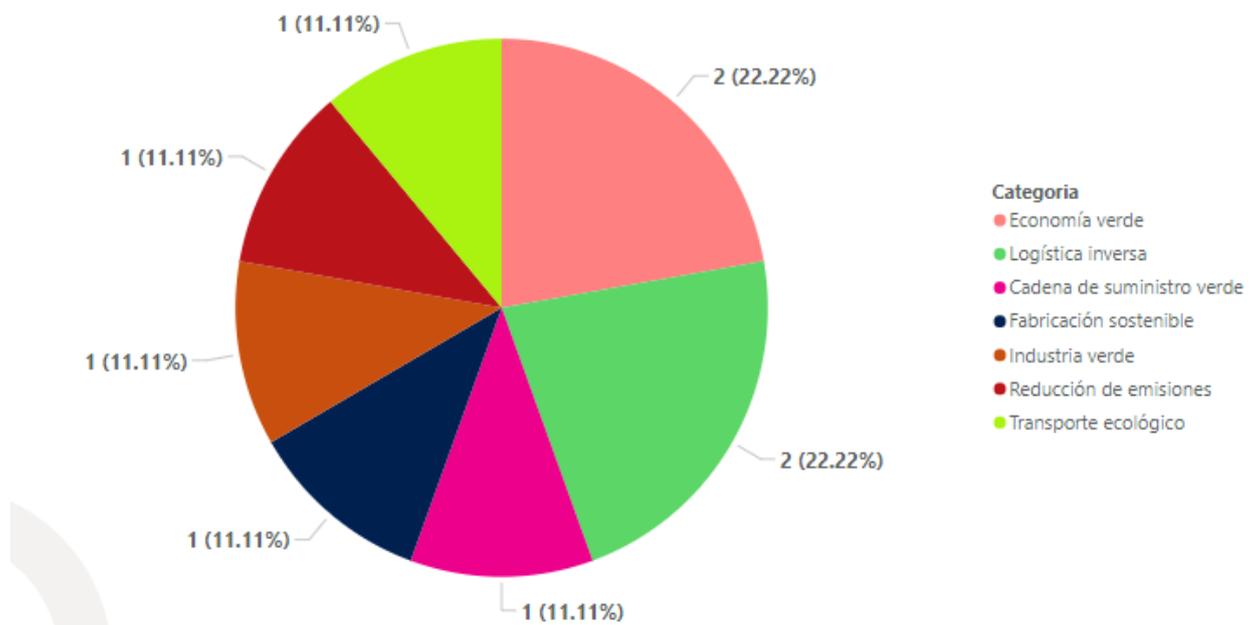


Figura 6.1 Aplicaciones en el estudio de la Sostenibilidad

A continuación se describen los estudios seleccionados en la revisión bibliográfica para cada una de estas categorías.

6.1. Economía Verde

Expertos en Ucrania han analizado las tendencias de la manufactura inteligente, en el contexto de la industria 5.0, la cual implica dos disposiciones clave: en primer lugar, el rumbo hacia una economía verde y digital. Y aunque esta prioridad ya se ha manifestado anteriormente, en un nuevo sentido significará una mayor atención a las necesidades del hombre y la naturaleza; el segundo punto importante está relacionado con la necesidad de garantizar una mayor sostenibilidad de la economía y la transición hacia ecosistemas económicos más resilientes a futuros choques y tensiones, es decir, garantizar la resiliencia y la fiabilidad de los ecosistemas frente a los desafíos externos (Kalenyuk et al., 2023).

Una economía verde se define como baja en carbono, eficiente en el uso de los recursos y socialmente inclusiva. En una economía verde, el crecimiento del empleo y de la renta se ve impulsado por la inversión pública y privada en actividades económicas, infraestructuras y activos que permitan reducir las emisiones de carbono y la contaminación, mejorar la eficiencia energética y de los recursos y evitar la pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos (UNEP, 2023).

En China, se han implementado iniciativas de economía verde, mediante la inauguración de un puesto de carga e intercambio de baterías para camiones pesados eléctricos en la ciudad de Wusu, en la región autónoma de Xinjiang Uygur, el cual se muestra en la figura 6.2 (China Daily, 2024)c.



Figura 6.2 Estación de carga de baterías para camiones (China daily,2024)

6.2. Logística Inversa

Se han identificado oportunidades y retos en la digitalización de los procesos de diseño de redes de logística inversa para las empresas de manufactura (Yu & Sun, 2024). Expertos afirman que la logística inversa es una etapa fundamental para lograr una fabricación y unas cadenas de suministro sostenibles, cuyo objetivo es recuperar los valores restantes de los productos fuera de uso, de conformidad con políticas y normativas medioambientales (Shukla et al., 2022).

La optimización de la logística inversa desempeña un papel fundamental a la hora de facilitar la transición hacia una economía circular mediante la recuperación eficiente de recursos, la minimización de residuos y la mejora de la sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida del producto.

Expertos han identificado los cinco elementos clave para administrar la devolución y reutilización de los productos en la cadena de suministro (Maersk,2024)

- Devoluciones: Gestión de los artículos que los clientes devuelven porque son defectuosos o no deseados.
- Reventa: Reacondicionamiento o reempaquetado de artículos para volver a venderlos.
- Reparar: Arreglar productos dañados para poder reutilizarlos o revenderlos.

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

- Reciclar: Recuperar materiales de artículos viejos o devueltos para volver a utilizarlos.
- Sustituir: Dar a los clientes un producto nuevo a cambio de uno defectuoso, normalmente en garantía.

En Reino Unido, se desarrolló una metodología en la cual se combina el análisis de árboles de decisión y la regresión logística binaria para mejorar la toma de decisiones basada en datos en logística inversa. Este enfoque pretende abordar la complejidad de la toma de decisiones en logística inversa en el contexto de la Industria 5.0 mediante identificando predictores influyentes, capturando relaciones no lineales y proporcionando conocimientos cuantificables (Dabo & Hosseinian-Far, 2023).

En 2023, DHL compró la compañía de logística inversa Happy Returns, la cual se caracteriza por ofrecer un paquete completo de soluciones para devoluciones, con tecnología de software y operaciones logísticas inversas a gran escala que facilitan las devoluciones sin contratiempos(UPS, 2023).



Figura 6.3 Punto de recogida de Happy Returns (Happy Returns,2022)

En unos cuantos pasos, los usuarios pueden acceder al portal de devoluciones, hacer una devolución sin caja en la ubicación que les convenga y contar con que sus artículos serán enviados, clasificados y devueltos al comerciante. La empresa tiene un historial sólido de ofrecer devoluciones sin caja y sin molestias, que disminuyen el costo del comercio electrónico para todos los participantes y crean una cadena de suministro más eficiente y sostenible.

6.3. Cadena de suministro verde

En Indonesia, investigadores aplicaron una encuesta a más de 250 compañías ubicadas en Yakarta y Java, para identificar los efectos de las cadenas de suministro



Tendencia 4: Sostenibilidad

verde en la sostenibilidad del negocio mediante el uso de herramientas digitales; enmarcado dentro de los principios de la I5.0.

Searoutes ha desarrollado una «ecocalculadora» basada en inteligencia artificial para el transporte de mercancías. Mide y compara las emisiones de distintos tipos de transporte. Para ello, analiza la geolocalización, el tipo de motor y las condiciones meteorológicas. Con esta solución, los cargadores pueden encontrar transportistas con las emisiones de CO2 más bajas y reducir sus propias emisiones para cumplir los objetivos ecológicos de la cadena de suministro.

Evigence, desarrolló un sistema para medir y gestionar la frescura de los alimentos en toda la cadena de suministro, este sistema ofrece a las empresas alimentarias y a los transportistas de la cadena de frío información sobre la frescura de los alimentos a nivel unitario y basada en datos mediante una tecnología patentada de sensores de códigos QR, el cual se muestra en la figura 6.3 (Hofer, 2022).



Figura 6.4 Ejemplo de código QR de Evigence (Evigence,2023)

Al escanear el código, la aplicación indica a los empleados del restaurante o supermercado qué caja debe utilizarse lo antes posible y cuál puede reservarse para más adelante. Los sensores empiezan en verde y cambian a rojo para indicar que el producto ya no está fresco. El usuario también puede escanear los códigos mediante una aplicación móvil para saber cuántas horas faltan para que el producto deje de ser utilizable. La solución puede ayudar a impulsar la eficiencia de la cadena de suministro, garantizar la calidad de los alimentos, reducir la pérdida de alimentos, gestionar el cumplimiento y tomar decisiones informadas.

6.4. Fabricación Sostenible

En Canadá, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para sentar las bases del desarrollo de una arquitectura inteligente para alcanzar un sistema sostenible (Mejía-Moncayo et al., 2023). A pesar de que existe un creciente interés en la sostenibilidad, expertos afirman que su implementación sigue siendo un tema complejo para las organizaciones, ya que de presentarse tensiones entre el aspecto medioambiental y económico, la administración apuesta únicamente por aquellas prácticas que generen un retorno económico (Gusmerotti et al., 2019).

En esta revisión bibliográfica, los investigadores desarrollan un sistema con una propuesta de arquitectura inteligente, compuesta de tres capas:

- La capa de recuperación de datos y control de procesos automatiza y controla los procesos, y recupera información sobre el ciclo de vida del producto, la huella medioambiental y las partes interesadas entre los proveedores.
- En la siguiente capa, esta información se procesa en el sistema de gestión de la información en la nube, que integra diferentes funcionalidades enfocadas a proporcionar información a la capa operativa para una operación sostenible.
- La capa de análisis de datos y toma de decisiones realiza diferentes análisis utilizando big data analytics (BDA), inteligencia artificial (IA), simulación, gemelos digitales, realidad virtual, realidad aumentada (AR) y optimización (Opt).

Múltiples empresas han lanzado iniciativas para tener procesos de fabricación más sostenibles, a través de la implementación de materiales reciclados en sus procesos de manufactura, por ejemplo, la compañía URSA insulation, incrementó el contenido de material reciclado que incorpora a sus productos aislantes, fomentando la economía circular y rebajando su huella ambiental. En total, en 2023, el 69,6% de las materias primas empleadas para la fabricación de lana mineral de vidrio y XPS fueron residuos de otras industrias, como la del automóvil o la alimentaria (Rodríguez, 2024).

6.5. Reducción de emisiones

En China se realizó un estudio empírico sobre la reducción de emisiones en las áreas de Beijing-Tianjin-Hebei (Zhang et al., 2018).

Los investigadores llegaron a conclusión de que la estructura integrada del transporte fue el principal factor de aumento de la intensidad de las emisiones de carbono. Pekín, Tianjin y Hebei desempeñaron un papel positivo en la reducción de la intensidad total de las emisiones de carbono de la logística, y Tianjin tiene la mayor contribución a la disminución de la intensidad; y recomendaron que la región de Pekín-Tianjin-Hebei desarrolle políticas de reducción de emisiones diferenciadas y aplique



Tendencia 4: Sostenibilidad

responsabilidades de reducción de emisiones que ahorren energía en función de las características de la industria logística.

Empresas como Google están apuntando a alcanzar cero emisiones en su cadena de valor para el año 2030, y en búsqueda de este objetivo, ha formado una alianza con la empresa DHL express y el servicio GoGreen Plus, para su transporte logístico aéreo.

GoGreen Plus permite a los clientes reducir las emisiones de CO₂ asociadas a sus envíos, y se encuentra respaldado actualmente por tres de los mayores contratos del sector: BP, Neste y World Energy, mediante el uso de combustible SAF, generado a partir de materias primas renovables como aceite de cocina usado, residuos e hidrógeno, este combustible puede genera una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de hasta el 80% a lo largo de su ciclo de vida, en comparación con los combustibles de aviación al que sustituye o el queroseno convencional, intensivos en carbono, y procedentes del petróleo crudo (Hispanaviación, 2024).

GoGreen Plus forma parte de los objetivos de sostenibilidad del Grupo DHL para alcanzar las cero emisiones netas en 2050. Dado que alrededor del 70% de la huella de carbono de la empresa procede de su red aérea, las soluciones de transporte aéreo sostenible son importantes para crear operaciones logísticas eficientes. Este servicio de DHL es un proyecto que se desarrollará por fases, implementándose inicialmente en el Reino Unido, seguido por Italia, Dinamarca, Suecia, Canadá, Australia, Sudáfrica y los Emiratos Árabes Unidos.

Empresas como Nestlé y el grupo Inditex se han asociado con Maersk para reducir su huella global de gases de efecto invernadero (GEI), procedentes de su logística marítima, mediante el programa *Eco Delivery Ocean*, que incorporará combustibles alternativos en todas sus rutas. En el caso de Nestlé, considerada la mayor empresa de alimentación y bebidas del mundo, está reduciendo sus emisiones de gases de efecto invernadero para el 100% de sus contenedores marítimos transportados por Maersk en 2023, con la opción de ampliar este acuerdo a 2024 y más allá (Maersk, 2023).

Capítulo 7. Tendencia 5: Entrenamiento

El entrenamiento en el contexto de la Industria 5.0 representa una combinación de competencias técnicas y sociales, el aprendizaje multidisciplinar y el aprendizaje permanente para capacitar a las personas para aprovechar las tecnologías avanzadas e impulsar la innovación en el cambiante panorama industrial. Uno de los retos fundamentales en la educación de los profesionales de la Industria 5.0 es el rápido ritmo de los avances tecnológicos y el déficit de cualificaciones asociado (Pinto et al., 2024).

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las publicaciones basadas en entrenamiento en la implementación de la logística 5.0, las cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:

2022

En Australia se estudió el papel de los marinos en el transporte marítimo autónomo a través de una revisión bibliográfica; donde se tocó el tema de la marina 5.0, a través de la formación de marinos y operadores marítimos inteligentes como respuesta temprana a un diagnóstico de las causas de la implantación de Marina 5.0, tiene el potencial de prevenir futuros obstáculos y desafíos.

La Marina 5.0 se define como la colaboración entre agentes no humanos (agentes inteligentes) y marinos/operadores marítimos para realizar tareas en todos los niveles del espacio marítimo, desde el diseño hasta la toma de decisiones integradas y la explotación (Shahbakhsh et al., 2022).

2023

En Austria se desarrolló un estudio para definir el perfil de competencias para la formación de ingenieros en logística industrial en el contexto de la industria 5.0, donde se llegó a la conclusión de que el desarrollo de competencias de los estudiantes de ingeniería debe aplicarse de forma holística en las instituciones para que se produzca una expansión de las competencias tanto a nivel organizativo como nivel individual (Pacher et al., 2023); los expertos listaron una serie de competencias, clasificadas en tres categorías, las cuales se resumen en la tabla 7.1 mostrada a continuación.



Tendencia 5: Entrenamiento

Tabla 7.1 Habilidades requeridas por profesionales de la Ingeniería en la Industria 5.0
(Fuente: Pacher et al.,2023)

Competencias	Habilidades específicas
Competencias Especiales	Gestión de proveedores
	Realizar el proceso de selección de proveedores mediante un ejemplo práctico
	Gestión del transporte entrante
	Comprender los procesos de gestión del transporte entrante
	Mejorar los procesos de transporte entrante en un caso práctico
	Digitalización en la logística de entrada
	Resumir el papel de la digitalización en la logística de entrada
	Explicar los enfoques clave de la logística de entrada
	Sostenibilidad en la logística de entrada
	Resumir el papel de la sostenibilidad en la logística de recepción
	Explicar los enfoques clave para la Sostenibilidad en la logística de entrada
Competencias transversales	Competencia en lengua materna
	Competencia en lenguas extranjeras;
	Competencia matemática y competencia científica y técnica básica
	Competencia informática
	Competencia en materia de aprendizaje
	Competencia social
	Iniciativa y competencia empresarial
Conciencia cultural	
Competencias intrapersonales	Trabajo en equipo
	Reflexionar sobre las fases del trabajo en equipo
	Colaborar en equipos interdisciplinarios en la vida profesional cotidiana
	Habilidades de gestión de conflictos
	Aplicar eficazmente métodos y técnicas de gestión de conflictos
	Resolver conflictos de forma adecuada a la situación planteada
	Habilidades de comunicación
	Comprender y explicar las técnicas de comunicación
	Comunicarse adecuadamente en las negociaciones y ser capaz de adaptarse a la situación
	Habilidades de negociación
	Describir las técnicas de negociación
Llevar a cabo procesos sistemáticos de negociación en la vida profesional cotidiana	

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

En HongKong se analizó la experiencia de los estudiantes de logística marítima a través de juegos de simulación empresarial(Lau et al., 2023)

En Italia, se desarrolló una aplicación de RA para un almacén de piezas de repuesto de una gran empresa que opera en el sector de los vehículos agrícolas y de construcción, con un enfoque de diseño centrado en el usuario. Donde los resultados de las pruebas piloto demostraron que los operarios valoran positivamente la aplicación de RA, lo que garantiza una elevada satisfacción del usuario y limita el esfuerzo de formación(Grandi et al., 2023).

2024

En Italia se analizó el papel de las fábricas de aprendizaje en el desarrollo de los estudiantes de ingeniería, donde se identificaron las habilidades que adquirirían los estudiantes por al utilizar la fábrica de aprendizaje instalado en la universidad de Bérgamo, la cual que simula una fábrica inteligente y conectada desde el lanzamiento de la orden de producción hasta el envío del producto acabado. (Lagorio et al., 2023); las habilidades adquiridas por los estudiantes en este estudio se describen en la Tabla 7.2 a continuación.

Tabla 7.2 Habilidades adquiridas a través de las fábricas de aprendizaje (Fuente: Lagorio et al.,2023)

Área	Contenido de Aprendizaje
Fabricación	<ul style="list-style-type: none">• Diseño del trabajo• Indicadores clave de rendimiento• Gemelos digitales
Montaje	<ul style="list-style-type: none">• Montaje automático• Desmontaje manual• Diseño del trabajo• Operaciones de cobot
Logística y SCM	<ul style="list-style-type: none">• Control de inventario• Almacén• Robots móviles autónomos• Manipulación de materiales
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento correctivo• Mantenimiento planificado• Mantenimiento predictivo
Calidad	<ul style="list-style-type: none">• Gestión de residuos• Control de calidad• Gráficos de control
Operaciones	<ul style="list-style-type: none">• Planificación de pedidos• Gestión de pedidos• KPI de producción• Programación de operaciones



Tendencia 5: Entrenamiento

Continuación de Tabla 7.2 (Fuente: Lagorio et al.,2023)

Área	Contenido de Aprendizaje
Ergonomía y factores humanos	<ul style="list-style-type: none">• Interfaz hombre-máquina• Colaboración humano-robot• Realidad aumentada
Seguridad	<ul style="list-style-type: none">• Colaboración entre humanos y robots• Diseño

Las fábricas de aprendizaje son entornos de aprendizaje complejos para el contexto de la fabricación que contienen réplicas auténticas de sistemas de producción y cadenas de valor reales, para que los participantes puedan aprender basándose en experiencias, de forma práctica. Se simplifican por motivos didácticos y se reproducen dentro de un laboratorio para formar a los alumnos. Las fábricas de aprendizaje se utilizan en las universidades y la industria desde hace muchos años, en la figura 7.1 se puede observar la fábrica de aprendizaje de Virginia Tech (EIT Manufacturing, 2020).



Figura 7.1 Ejemplo de fábrica de aprendizaje (Virginia Tech,2023)

Capítulo 8. Tendencia 6: Salud

Con la transición a la sociedad 5.0, se genera una transición en los procesos de la salud y su cadena logística, donde se pretende crear un sistema inteligente y seguro, desde la programación de citas -vía telemedicina o en la consulta del médico- hasta el acceso del médico a la información del paciente en la consulta. Para garantizar la fluidez del proceso, este enfoque combina tecnologías como blockchain y realidad virtual y aumentada. Además, la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT).

En la figura 8.1 se muestra un mapa de las publicaciones sobre la logística 5.0 en el sector de la salud, donde podemos observar investigaciones realizadas en México, Italia, Turquía y Pakistán.

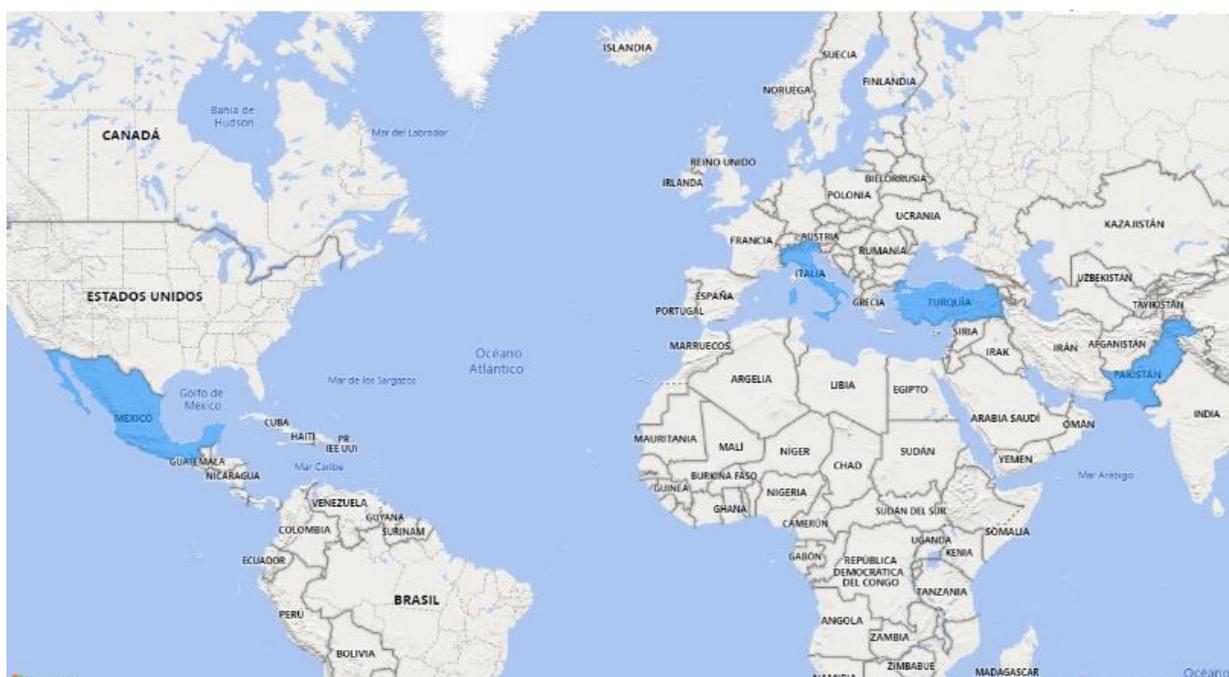


Figura 8.1 Mapa de estudios de logística 5.0 por país en el sector salud.

A continuación, se presenta una descripción en orden cronológico de las publicaciones sobre la implementación de la logística 5.0 en el sector salud, los cuales fueron identificados a través de la revisión de literatura:

2021

En Pakistán se desarrolló un estudio para analizar el efecto del covid19 en el desarrollo de la industria 5.0 (Sarfraz et al., 2021)



Tendencia 6: Salud

Los diagnósticos médicos y la IA son sistemas bien diseñados que se están utilizando en la tecnología móvil para el rastreo de contactos y las tecnologías de recopilación de datos. Las herramientas digitales actuales han mostrado resultados prometedores en la gestión de brotes infecciosos. Sin embargo, la mejora de la aplicación humana a través de la sociedad 5.0 puede mejorar la gestión del impacto, la velocidad y el alcance de los brotes de enfermedades infecciosas.

Con la llegada de la sociedad 5.0, robots y drones podrán entregar suministros médicos a los centros sanitarios, comidas y medicinas a los pacientes infectados. La Industria 4.0 y la revolución tecnológica abordan ciertos problemas del sistema sanitario pakistaní, como los menguantes niveles de atención a los pacientes o la falta de recursos.

2023

En México se estudió el desarrollo de cadenas de suministro mediante vehículos no tripulados para uso en cadenas de suministro, seguridad sanitaria y enfoque a casos de emergencia para utilizarlo en periodos de crisis y dotación de suministros (Elorza López et al., 2023).

En Italia se realizó un estudio sobre la logística de asistencia médica domiciliaria, a través de una revisión de literatura, donde se concluyó que la asistencia domiciliaria consiste en un problema de planificación y programación de rutas, así como el aprovisionamiento de materiales a domicilio (Piffari et al., 2023).

Los expertos identificaron 43 algoritmos de optimización en los estudios seleccionados, basados en la minimización de los costes, que pueden ser de transporte, de penalización por no respetar los horarios de los pacientes o no visitar a todos los pacientes, costes por horas extraordinarias, penalizaciones por superar la distancia máxima que pueden recorrer los operadores, costes ocultos causados por no utilizar las habilidades de las enfermeras. También se identificó la importancia que tienen los estudios enfocados en la minimización del tiempo de desplazamiento seguida de la minimización de las emisiones contaminantes y los tiempos de espera.

2024

En Turquía, expertos desarrollaron un proyecto sobre el uso de blockchain para optimizar la comunicación de drones a través de redes 5G en los servicios médicos; estudiando en profundidad de tres posibles rutas de transmisión de datos para optimizar la comunicación: de dron a dron, al dispositivo del usuario en tierra y a la estación base; mediante el análisis de las aplicaciones de los drones en el campo de la salud (Sabuncu & Bilgehan, 2024), los cuales se resumen en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Aplicaciones de drones en el campo de la salud (Fuente: Sabuncu & Bilgehan,2024)

Tipo de Drone	Aplicaciones en salud
Medidrone	Desfibriladores, botellas de oxígeno, medicamentos
Flirtey	Botiquines y entrega de medicamentos de urgencia
Tu Delft Drone	Entrega de desfibriladores
Drone Ambulancia	Levantar, transportar y medicar pacientes
Ehang	Transporte de los órganos donados
Drone zipline	Transporte de sangre para transfusiones
Drone propuesto	Suministro médico de urgencia solicitado por el consumidor

Expertos consideran que el uso de drones en los sistemas de salud es necesario, especialmente en lugares no se puede llegar con los medios de transporte tradicionales, como camiones y furgonetas, debido a lo accidentado del terreno, que requiere camiones y conductores especializados. En la figura 8.2 se muestra un ejemplo del drone ambulancia de la empresa Tu Delft.



Figura 8.2 Tu Delft drone ambulancia

En Ghana y Rwanda, la empresa zipline, ha suministrado sangre, vacunas infantiles, vacunas COVID-19, equipos de protección individual (EPI) y productos de planificación familiar a miles de centros sanitarios remotos. Los suministros médicos se adquieren a



Tendencia 6: Salud

los gobiernos locales, que dependen de la ayuda de donantes internacionales para sus presupuestos. A través de una llamada telefónica, el personal sanitario hace el pedido de los suministros, en aproximadamente 15 minutos, reciben los implementos solicitados, los cuales al ser entregados por transporte terrestre tomaría horas debido al estado de las carreteras(Leedom, 2024).

En Dublín, Irlanda, se lanzó un proyecto enfocado en la entrega de suministros médicos a los hospitales de la ciudad. La prueba piloto durará entre tres y seis meses, y transportará en un principio un kit equipado con la cámara ingerible de Medtronic, PillCam, así como suturas, herramientas quirúrgicas y productos para la reparación de válvulas cardíacas, a la Clínica Blackrock de Dublín y al Hospital Privado St. Vincent. En el futuro, las entregas se ampliarán a marcapasos y desfibriladores cardíacos implantables, el dron utilizado se muestra en la figura 8.3.



Figura 8.3 Drone Apian utilizado en prueba piloto

El programa funcionará de lunes a viernes y realizará hasta 20 vuelos diarios entre las 9.00 y las 17.00 horas. Los vuelos sólo tendrán lugar durante el día, por lo que es posible que se realicen menos durante el invierno(Yellig, 2024).

Capítulo 9. Desafíos

El término complejidad de la cadena de suministro se utiliza para describir las interdependencias del sistema en el que un cambio en un elemento afecta a los demás elementos de la red. Por ejemplo, variables como los cambios en los requisitos de los clientes, los cambios en las normas industriales, la adopción de nuevas tecnologías, la competencia y los cambios en los procesos, los productos y los servicios.

En Hong-Kong, investigadores realizaron un análisis sobre la logística del futuro desde el punto de vista de 5 aspectos críticos, como ser el efecto de la industria 5.0, implicaciones jurídicas, empresas conjuntas, gestión de riesgos, la automatización e Inteligencia artificial, al cual nombraron IJLRA por sus siglas en inglés; en este estudio se analizaron una serie de desafíos para las empresas relacionados con (Chan & Choi, 2023):

- Alcanzar la sostenibilidad y resiliencia de la cadena de suministro de forma simultánea.
- La digitalización y el comercio electrónico crean una oportunidad para el fraude.
- ¿Cómo gobernar los sistemas logísticos en el mundo ciber físico?
- Elevados costos de la inversión y adopción tecnológica.

9.1. Sinergia en los sistemas hombre-máquina

Expertos han estudiado el futuro de las interacciones hombre máquina en los sistemas productivos, lo que los ha llevado a enfocarse en los problemas que pueden presentarse en los sistemas de colaboración, dada la falta de capacidades sociales de los robots.

Durante la ejecución de una tarea, los humanos son capaces de evaluar el progreso de un compañero al ejecutar una habilidad en comparación con su propia capacidad percibida para realizar la misma habilidad. Un Cobot con esta capacidad introduce nuevos problemas potenciales relacionados con la gestión de equipos, esto hace que los expertos se planteen nuevas interrogantes, como ser: ¿Cómo sabe un Cobot cuándo debe abandonar su tarea actual, ya sea por incapacidad reconocida para llevarla a cabo con eficacia o porque ha descubierto que puede realizar otra tarea con mejores resultados? (Hayes & Scassellati, 2013)

Expertos afirman que la comunicación entre el humano y robot es crítica, por lo que, para garantizar la seguridad del ser humano frente al robot, éste último debe disponer de inteligencia para comprender la situación y establecer una comunicación eficaz entre ambos, ya sea a través de sistemas de gestos o reconocimiento del habla; sin embargo



Desafíos en la implementación de la logística 5.0

se recomienda tomar en consideración como factores externos de ruido ambiental o el comportamiento inadecuado del operador puede generar un funcionamiento inadecuado del robot, por lo que el filtrar los ruidos no deseados significa un desafío para la implementación de estos sistemas; en el caso de la comunicación por gestos, la iluminación y otros factores ambientales que afecten la visibilidad pueden afectar la comunicación (Inkulu et al., 2022).

9.2. Costo de inversión en tecnología

La inversión en tecnología y el entrenamiento de los operadores es muy costosa, y debe analizarse como una decisión con impacto a largo plazo.

Los costos de la adopción de la industria 5.0 implican una inversión substancial en infraestructura tecnológica, software y programas de entrenamiento. En un estudio realizado sobre las barreras de la adopción de la industria 5.0 en las cadenas de suministro, los expertos identificaron que los costos de implementación ocupan la primera posición como el reto más grande al que se enfrentan las empresas; estos costos se ven influenciados por otras barreras, como ser la falta de apoyo del gobierno, poco conocimiento sobre tecnologías disruptivas, apoyo de la alta gerencia, falta de personal calificado e incertidumbre del mercado (Laddha & Agrawal, 2024).

En India se realizó un análisis sobre el impacto del blockchain en la logística, donde los autores identificaron una serie de desafíos para la implementación en las cadenas de suministro. Temas relacionados con escalabilidad, la alta energía y potencia de cálculo, el rendimiento, la latencia, el alto coste de configuración y la falta de estandarización son algunos de los principales retos que experimentan las empresas para apostar por la adopción de esta tecnología en sus procesos, así como la falta de estandarización son algunos de los principales retos (Raja Santhi & Muthuswamy, 2022).

Las tecnologías avanzadas requieren inversiones, en especial la formación de los trabajadores para los nuevos puestos de trabajo conlleva costes adicionales; ya que se requieren máquinas inteligentes y empleados altamente cualificados para aumentar la productividad y la eficiencia (Adel, 2022). Por ejemplo, al momento de implementar un Cobot, la empresa debe considerar los siguientes costos.

- Adquisición del Cobot.
- Mantenimiento y revisiones periódicas.
- Herramientas adicionales para tareas específicas.
- Formación para operadores y personal de mantenimiento.
- Actualizaciones de software y asistencia.

De acuerdo con expertos, el coste de adquisición de un Cobot de uso industrial puede variar significativamente en función de factores como el tamaño, la complejidad y la marca. De media, los cobots industriales pueden oscilar entre 31,000 y 108,000

Logística 5.0: Tendencias y Desafíos para la Industria

euros aproximadamente. Estos datos son estimaciones aproximadas, y los precios reales pueden ser superiores o inferiores en función de los requisitos y características específicos (Qviro, 2023).

En el caso de la adopción de la realidad aumentada, en la tabla 9.1 se presenta un análisis de costos estimados del desarrollo e implementación de una aplicación basada en RA, considerando las características y funciones requeridas por la empresa (Technology Ally, 2024).

Tabla 9.1 Costo de implementación de Realidad Aumentada por función (Technology Ally, 2024)

Función	Industria	Costo (USD)
Reconocimiento de imágenes	Aplicaciones de AR para colocar muebles	\$20,000 – \$50,000
RA basado en la localización	Aplicaciones de navegación por realidad aumentada	\$25,000 – \$60,000
Seguimiento de objetos 3D	Juegos	\$30,000 – \$70,000
RA sin marcadores	Comercio electrónico	\$35,000 – \$75,000
Integración con redes sociales	Aplicaciones de edición de fotos con realidad aumentada	\$45,000 – \$85,000
Interfaz personalizable	Aplicaciones de marketing y branding con realidad aumentada	\$55,000 – \$95,000
Modo sin conexión	Aplicaciones de turismo y exploración con realidad aumentada	\$60,000 – \$100,000
Análisis e informes	Aplicaciones RA de visualización de datos	\$65,000 – \$110,00

En el caso de los exoesqueletos, estos se consideran una tecnología con gran potencial en el ámbito empresarial, debido a los ahorros al aumentar la productividad y la reducción de lesiones en los empleados en la manipulación de cargas. A medida que los almacenes y los entornos de trabajo industriales se digitalizan, los directivos quieren tener en sus manos más puntos de datos que puedan utilizarse para la toma de decisiones estratégicas (ABI Research, 2023). En la tabla 9.2 se muestra una proyección de costos promedio de adquisición de exoesqueletos para el año 2023.



Desafíos en la implementación de la logística 5.0

Tabla 9.2 Costo de adquisición de un exoesqueleto de acuerdo con el tipo de esfuerzo y estructura (ABI Research, 2023).

Tipo	Cuerpo Inferior	Cuerpo superior	Cuerpo completo
Elevación pesada	US\$38,197	US\$32,187	US\$125,678
Elevación media	US\$23,876	US\$32,296	US\$57,535
Elevación ligera	US\$19,634	US\$13,995	US\$39,556

Otra tecnología emergente en la adopción de la industria 5.0 son los gemelos digitales, de acuerdo con análisis realizados por expertos, el desarrollo de un gemelo digital implica costos de hardware, software y costos de implementación. Los costos de implantación se centran principalmente en los costos de mano de obra para la instalación o el desarrollo así como los costos de formación (Oettl et al., 2023). El precio estimado de un gemelo digital de un activo básico oscila entre 71.000 y 119.000 euros (Visartech, 2023).

9.3. Implicaciones jurídicas

Con la implementación de la inteligencia artificial, los expertos han expresado su preocupación por las lagunas legales surgidas de la implementación de la IA, especialmente sobre la responsabilidad en caso de lesiones o accidentes provocados por sistemas autónomos.

Expertos han propuesto la idea de otorgar a la inteligencia artificial de una personalidad jurídica, con el objetivo de que estén sujetas a responsabilidad legal; surgiendo de esta forma el concepto de persona electrónica.

La comisión de asuntos jurídicos del Parlamento Europeo presentó un proyecto de informe sobre normas de derecho civil de robótica, donde se propuso considerar personas electrónicas a los robots, de forma que puedan contar con derechos y obligaciones propias, incluida la responsabilidad de reparar los daños que puedan causar; la personalidad electrónica se aplicaría a los supuestos en que los robots puedan tomar decisiones autónomas inteligentes o interactuar con terceros de forma independiente (Parlamento Europeo, 2014).

Sin embargo, existen opiniones controversiales respecto a la adopción legal de las personas electrónicas, donde los expertos expresan su desacuerdo basado en las siguientes consideraciones:

Existe el riesgo de que las empresas tecnológicas utilicen la personalidad electrónica de la inteligencia artificial como una forma de transferir los riesgos y

responsabilidades en caso de accidentes, lo que provocaría que las empresas se preocupen cada vez menos por cumplir con la normativa de seguridad (Yalman, 2024).

Otro aspecto importante que impacta de forma negativa a los usuarios es que en caso de que existan daños y perjuicios, se dificultaría hacer efectivas las reclamaciones por daños, dado que las personas electrónicas no tienen un patrimonio propio, surge la duda la cantidad monetaria que debe proporcionarles como patrimonio para asumir cubrir las reclamaciones (Zeck & Zeck, 2023).

9.4. Seguridad de la Información

Otro tema relevante es la protección de datos; expertos han señalado que uno de los principales problemas a los que se exponen las empresas en la transición hacia la industria 5.0 es encontrar la manera de garantizar la seguridad y privacidad de las enormes cantidades de datos generados a través de las nuevas tecnologías basadas en inteligencia artificial, BlockChain y big data, ya que expone a los sistemas a posibles amenazas cibernéticas y a la pérdida de datos (Karmaker et al., 2023).

Con el uso de las nuevas tecnologías las empresas están cada vez más expuestas, un ejemplo de ello es Toyota, quien en el año 2022 fue víctima de un ciberataque, que provocó la paralización de sus líneas de producción en Japón; y en el año 2023 un ataque de ransomware expuso los datos financieros de sus servicios en Alemania, por los cuales tuvo que pagar un rescate de ocho millones de dólares (Muhammad, 2023).

Con el objetivo de analizar las tendencias en ciberseguridad, expertos suecos identificaron a través de una revisión bibliográfica los aspectos de ciberseguridad en los que deben enfocarse las empresas al adentrarse a la implementación de la industria 5.0 (Kour et al., 2024), los cuales se resumen en la tabla 9.1 a continuación:

Tabla 9.3 Aspectos de ciberseguridad a considerar en la implementación de la I5.0 (Fuente: Kour et al., 2024)

Aspecto de ciberseguridad	Origen del riesgo
Aumento de los vectores de ataque	La proliferación de dispositivos conectados (máquinas, sensores, robots) crea numerosos puntos de entrada para los atacantes.
Preocupación por la seguridad de los datos	La gran cantidad de datos sensibles generados y recopilados en los sistemas de la Industria 5.0 (datos de producción, información de clientes, modelos de IA) requiere medidas sólidas de seguridad de datos.
Vulnerabilidades de la cadena de suministro	La interconexión de la Industria 5.0 se extiende más allá de las paredes de la fábrica, abarcando a proveedores y socios. Las vulnerabilidades en cualquier parte de la cadena de suministro pueden ser explotadas para obtener acceso a los sistemas centrales.



Desafíos en la implementación de la logística 5.0

Continuación de Tabla 9.3 (Fuente: Kour et al. ,2024)

Aspecto de ciberseguridad	Origen del riesgo
Riesgos de seguridad de la IA	La integración de la IA introduce nuevos vectores de ataque. Los actores maliciosos pueden atacar algoritmos de IA para manipular resultados, interrumpir operaciones o robar propiedad intelectual.
Riesgos de colaboración entre humanos y máquinas	La estrecha colaboración entre humanos y máquinas requiere protocolos de autenticación seguros para evitar el acceso no autorizado o la manipulación por cualquiera de las partes.

De acuerdo con datos de expertos, se estima que en el año 2022 solo un 40% de empresas de manufactura habían implementado herramientas de gestión de riesgos de ciberseguridad, lo cual es sumamente preocupante, ya que, al estar interconectadas a través de sistemas de intercambio de datos con proveedores y clientes, se vuelven intrínsecamente vulnerables a los ciberataques, y aseguran que las empresas más vulnerables pertenecen al sector automotriz (Ani, 2024). Se presentan en la Tabla 9.2 algunos de los casos más relevantes de ataque sufridos por empresas de manufactura del sector automotriz (OTORIO, 2024).

Tabla 9.4 Ejemplos de ciberataques en empresas de manufactura del sector automotriz (Otorio, 2024)

Empresa Automotriz	Descripción del ataque
Tesla	Ocurrido en la fábrica de baterías en Sparks Nevada, se pretendía realizar el ataque utilizando a un empleado encargado de introducir el malware; el cual una vez insertado en el sistema, produciría un ataque de denegación de servicio distribuido (DDoS) que podría permitir a los hackers ocupar el equipo de seguridad de la información de Tesla. El programa maligno también permitiría a los hackers extraer datos corporativos y de red, por los que se pediría un rescate hasta que el fabricante de coches eléctricos pague.
Honda	Ataque de ransomware que provocó la paralización de las operaciones en Japón, sin embargo, no se revelaron detalles sobre la información afectada.
Nissan y Renault	Ataque de ransomware en planta de Reino Unido que afectó a Renault y FedEx. Los extorsionadores engañaban a las víctimas para que abrieran archivos adjuntos con malware malicioso en correos electrónicos de spam que parecían contener facturas, ofertas de trabajo, avisos de seguridad y otros archivos legítimos.

9.5. Mano de Obra calificada

Investigadores consideran que la Industria 5.0 creará más puestos de trabajo de los que suprimirá, argumentando que se crearán muchos empleos en el desarrollo, implementación, mantenimiento y mejora de los sistemas inteligentes. Sin embargo, aunque la Industria 5.0 representa una oportunidad para las empresas, existe un déficit de cualificaciones y competencias básicas que es necesario desarrollar, debido a que la gran mayoría de la mano de obra carece de las capacidades y los conocimientos necesarios para trabajar con las nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y robótica (Suciu et al., 2023).

Expertos identificaron las brechas de conocimiento y las habilidades necesarias para los trabajadores en el contexto de la industria 5.0 (Brkovic et al., 2023), entre las cuales destacan:

- Competencia en el uso, control y supervisión de dispositivos tecnológicos.
- Desarrollo de soluciones tecnológicas y de programación.
- Aprendizaje permanente.
- Originalidad, iniciativa y creatividad.
- Pensamiento innovador, creativo y analítico.
- Capacidad para afrontar situaciones difíciles y resolver problemas complejos.
- Inteligencia emocional.

Como resultado del estudio realizado, los expertos proponen una serie de estrategias para desarrollar mano de obra calificada, donde la colaboración entre la industria y universidades puede ayudar a reducir los tiempos para preparar a los trabajadores con los nuevos conocimientos, crear centros de innovación y modernizar la educación a través de estrategias público-privadas; además la Industria 5.0 podría actuar como una valiosa alternativa para apoyar y capacitar a los empleados, en lugar de sustituirlos por herramientas automatizadas, aumentando al mismo tiempo su sostenibilidad, competitividad y resiliencia a largo plazo.

En un estudio realizado sobre el panorama del empleo 5.0, se afirma que los trabajadores del futuro serán los que estén dotados de las competencias digitales adecuadas para asociarse con robots y máquinas (Kolade & Owoseni, 2022). Mientras que la automatización implica traspasar las tareas humanas a las máquinas sin apenas intervención humana, el aumento implica una estrecha y continua interacción entre humanos y máquinas; sin embargo, no se debe olvidar el riesgo que esto representa en términos de seguridad laboral para los trabajadores de edad más avanzada, quienes en muchos casos son menos adaptables al aprendizaje y uso de nuevas habilidades digitales.



Capítulo 10. Estudio Económico

10.1. Introducción

En esta sección se realiza un análisis económico de los costos de desarrollo de este trabajo de fin de máster, mediante el análisis del personal requerido y los costos de honorarios por horas trabajadas en cada una de las fases del proyecto de investigación.

10.2. Profesionales que intervienen en el proyecto

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se formó un equipo de tres personas, cuyo perfil profesional se describe a continuación.

- **Director de proyecto de Investigación:** Ingeniero en organización industrial, con más de 10 años de experiencia en el sector de operaciones y cadena de suministro, con formación doctoral, y experiencia en desarrollo de proyectos. Entre sus responsabilidades están la definición del alcance del proyecto, formación de alianzas estratégicas para recopilación de datos de la industria, búsqueda de fondos, ejecución y monitoreo del presupuesto de investigación.
- **Ingeniero Senior:** Ingeniero en organización industrial, con experiencia en el campo de las operaciones y cadena de suministro, preferiblemente con un máster en logística, cadena de suministro o similares; será el encargado de realizar los análisis de la información recopilada por el ingeniero junior, así como la redacción del informe de investigación; así como la elaboración del borrador del instrumento de recopilación de datos de la empresa.
- **Ingeniero Junior:** Ingeniero en organización industrial, responsable del análisis bibliográfico y monitoreo de nuevas tendencias en la implementación de la logística 5.0; así como la aplicación del instrumento de recopilación de datos a través de entrevistas con expertos en la industria.

10.3. Fases del proyecto

El proyecto de investigación fue desarrollado en el periodo de marzo a septiembre del año 2024, el cual fue planteado en cuatro grandes fases, cuya programación se muestra en la figura 10.1 a continuación.

Fase	Mes	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
		Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Definición del proyecto	Definición del alcance y motivación	x	x																										
	Definición de criterios de inclusión y exclusión		x	x																									
Revisión bibliográfica	Búsqueda de literatura			x	x	x	x																						
	Aplicación de criterios de inclusión y exclusión							x	x	x	x																		
	Clasificación de artículos por tendencia											x	x	x	x														
Redacción de documento	Capítulo 1	x	x																										
	Capítulo 2											x	x																
	Capítulo 3													x	x														
	Capítulo 4															x	x												
	Capítulo 5																	x	x										
	Capítulo 6																			x	x								
	Capítulo 7																				x	x							
	Capítulo 8																					x	x						
	Capítulo 9																					x	x						
Ajustes finales	Capítulo 10																								x	x			
	Conclusiones y líneas futuras																								x	x			
	Ajustes finales del documento																										x		
	Presentación del TFM																											x	

Figura 10.1 Calendarización de fases de implementación del proyecto (Elaboración Propia)

En la fase de definición del proyecto de investigación sobre las tendencias y desafíos de la logística 5.0 para la industria, se dedicaron las primeras dos semanas del mes de marzo para definir la propuesta del proyecto, definición de antecedentes y la diferenciación entre los conceptos de la logística 4.0 y logística 5.0, así como la motivación para el desarrollo del estudio; y la definición de los criterios de inclusión y exclusión. Las horas de trabajo del equipo se invirtieron en el desarrollo del marco teórico y elaboración de redes bibliográficas utilizando el software VOSViewer.

La segunda fase del proyecto, la cual representa las actividades críticas de la investigación, se desarrolló en un periodo de 12 semanas, abarcando los meses de marzo a junio, los cuales se invirtieron en la búsqueda de literatura, aplicación de los criterios de inclusión y exclusión y la clasificación de los artículos por tendencia.



Estudio Económico

La tercera fase del proyecto, que consistió en la redacción del documento que resume los resultados de la revisión bibliográfica para identificar las tendencias y desafíos en la implementación de la logística 5.0; este apartado, formado por 9 capítulos fue construido en periodo de 14 semanas, el cual abarcó los meses de agosto.

Finalmente, la cuarta y última fase del proyecto, la cual consiste en los ajustes finales y presentación de resultados fue desarrollado en un periodo de 4 semanas, concluyendo en el mes de septiembre.

10.4. Estudio económico

En el siguiente apartado se realiza el cálculo económico de los costos implicados en el desarrollo del trabajo de fin de máster, donde se incluyen los costos de mano de obra de los investigadores, costos de suministros y otros costos indirectos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación.

En primer lugar, se realizó una estimación de las horas efectivas de los profesionales implicados en el desarrollo del proyecto, los cuales se muestran en la tabla 10.1.

Tabla 10.1 Horas efectivas anuales y tasas horarias del personal (Elaboración Propia)

Concepto	Días/horas
Año	365.00
Fines de semana	104.00
Vacaciones	20.00
Días festivos	12.00
Días perdidos por enfermedad	15.00
Cursos de formación	4.00
Días efectivos	210.00
Total horas disponibles	1680.00
Total semanas disponibles	42.00

Una vez identificado el tiempo disponible en horas de los integrantes del equipo de investigación, se procedió con la estimación de los costes de mano de obra por los servicios prestados por los investigadores que participaron en el desarrollo del trabajo de fin de máster, los cuales se resumen en la tabla 10.2.

Tabla 10.2 Costes del equipo de proyecto en euros (Elaboración Propia)

Concepto	Director del proyecto de investigación	Ingeniero senior	Ingeniero Junior
Sueldo neto al año	57.915,00	44.590,00	22.224,26
Seguridad social (35%)	20.270,25	15.606,5	7.778,49
Total	78.185,25	60.196,5	30.002,75
Coste semanal	1776,94	1368,1	681,88
Coste horario	50,63	34,2	17,05

Posteriormente se realizó el cálculo de la inversión en equipo tecnológico y software requerido para la revisión bibliográfica y el análisis de los datos obtenidos mediante la implementación de la metodología prisma 2020 para el análisis de literatura sobre las tendencias y desafíos de la logística 5.0; estos costos se resumen en la Tabla 10.3 a continuación.

Tabla 10.3 Costo de equipo y software (Elaboración Propia)

Descripción	Coste	Cantidad	Total
Dell Inspiron 15 3520 Ordenador Portátil de 15.6", Intel Core i7, 16GB RAM, 1TB	689.00 €	3	2,067.00 €
Office 365	247.20 €	3	741.60 €
Acceso Scopus	4,822.00 €	1	4,822.00 €
Licencia Mendeley	0.00 €	3	0.00 €
Licencia VosViewer	0.00 €	3	0.00 €
Total			7,630.60 €
Amortización semanal		260 semanas	29.35 €
Amortización diaria		1825 días	4.18 €
Amortización horaria		14160 horas	0.54 €

Cabe mencionar que, para el cálculo de la amortización, se tomó un periodo base de 5 años para los equipos tecnológicos.

En la Tabla 10.4 se resumen los costos de materiales consumibles requeridos para el desarrollo de la investigación, los cuales serán utilizados para la impresión de informes y envío de correspondencia.



Estudio Económico

Tabla 10.4 Material consumible para el proyecto (Elaboración Propia)

Descripción	Coste
Papel A4	29.99 €
Suministros impresora	199.97 €
Otro material de oficina	60.00 €
Total	289.96 €

En la Tabla 10.5 se muestra el desglose de los costes indirectos para la realización de la investigación, donde se puede observar que el más importante corresponde a los gastos de arrendamiento del área de trabajo de los investigadores.

Tabla 10.5 Costes indirectos del proyecto (Elaboración Propia)

Descripción	Coste
Alquiler	2,200.00 €
Wifi	200.00 €
Electricidad	260.00 €
Otros	500.00 €
Costo anual por persona	3,160.00 €
Costo diario por persona	15.05 €
Costo horario por persona	1.88 €

10.5. Costes asignados a cada fase del proyecto

Una vez desglosados los costos incurridos en el proyecto, se procedió a realizar el análisis de las horas invertidas por cada uno de los miembros del equipo en el desarrollo de la investigación, con el objetivo de calcular los honorarios correspondientes por su servicio, los cuales se resumen en la Tabla 10.2 a continuación.

Figura 10.2 Horas dedicadas al proyecto por miembro del equipo (Elaboración Propia)

FASE	Director de proyecto	Ingeniero senior	Ingeniero junior
Definición del proyecto	20.00	20.00	0.00
Revisión bibliográfica	0.00	0.00	80.00
Redacción de documento	0.00	0.00	84.00
Ajustes finales	10.00	27.00	11.00

En la tabla 10. 3 se muestra el costo de las horas invertidas para cada una de las fases del proyecto y los honorarios para cada miembro del equipo de investigación, donde se puede observar claramente que la definición del proyecto es la etapa más costosa, tomando en cuenta las horas invertidas por el director de Proyecto, quien tiene los costos más elevados por horas de servicio.

Tabla 10.6 Tabla de costos del proyecto por fase (Elaboración Propia)

FASE	Director de proyecto	Ingeniero senior	Ingeniero junior	Costo total
Definición del proyecto	1,012.60 €	684.00 €	0.00 €	1,696.60 €
Revisión bibliográfica	0.00 €	0.00 €	1,364.00 €	1,364.00 €
Redacción de documento	0.00 €	0.00 €	1,432.20 €	1,432.20 €
Ajustes finales	506.30 €	923.40 €	187.55 €	1,617.25 €
Costo total	1,518.90 €	1,607.40 €	2,983.75 €	6,110.05 €

Considerando que el proyecto tuvo una duración total de 22 semanas, se presentan a continuación los costos totales del proyecto de investigación.

Tabla 10.7 Desglose de costos totales del proyecto de investigación.

Costo	Valor
Mano de obra	6,110.05 €
Amortización	645.70 €
Suministros	289.96 €
Costos indirectos	1,336.90 €
Total	8,382.61 €



Conclusiones y líneas futuras

10.6. Conclusiones

A través del desarrollo de la revisión de literatura para el análisis de la situación actual en la implementación de la logística 5.0 fue posible identificar una serie de tendencias sobre los campos de aplicación de los investigadores a nivel mundial; dando respuesta a la primera pregunta de investigación, se identificaron seis tendencias mediante el análisis bibliográfico de 93 artículos, las cuales se enlistan por orden de relevancia:

- a) **Fabricas inteligentes**, donde se pudo observar como la industria está apostando la generación de espacios de trabajo inteligentes, eficientes e interconectados a través de tecnologías como los gemelos digitales, la inteligencia artificial, realidad aumentada y blockchain.
- b) **Integración hombre-Máquina**, donde se destaca el nuevo enfoque en el bienestar e importancia de los trabajadores en los procesos productivos, donde las tecnologías se utilizan para reducir la carga física en los trabajadores y aumentar sus capacidades, y brindarles un rol de supervisión en sus labores; se resalta la implementación de tecnologías como ser los cobots, asistentes digitales y exoesqueletos.
- c) **Transporte**, donde las empresas empiezan a utilizar tecnologías como sistemas de vehículos conectados para procesar datos en tiempo real, y evitar accidentes y fallos; destacan también las iniciativas de grandes actores de la industria como DHL, y la implementación de vehículos eléctricos para reducir sus emisiones en las entregas de la logística de la última milla. En el transporte marítimo se analizan proyectos de embarcaciones inteligentes y no tripuladas.
- d) **Sostenibilidad**, destacando las iniciativas de economía verde, alianzas entre empresas importantes para mejorar los servicios de logística inversa; surgen iniciativas para fabricación sostenible, el monitoreo de las emisiones de carbono en el transporte de mercancías y reducción de desperdicios en la industria alimenticias mediante sistemas de monitoreo de frescura en los productos vegetales.

- e) **Entrenamiento**, donde expertos han estudiado las habilidades esenciales que se requiere de los trabajadores en el contexto de la industria 5.0, y como las fabricas de aprendizaje pueden ser una respuesta a estas necesidades.
- f) **Salud**, donde destaca el uso de tecnologías como blockchain y utilización de sistemas de drones hacer más eficientes las cadenas logísticas en el sector medico hospitalario.

A través del análisis de las publicaciones por año, se puede observar que a partir del año 2021 se observa un crecimiento importante en el numero de publicaciones anuales en temas relacionados con la logística 5.0, donde en el año 2023 se obtuvo un incremento del 225% con relación al año 2022, y se espera que en el año 2024 se continúe con esta tendencia.

Mediante el análisis de los países de origen de las publicaciones relacionadas con las tendencias de la logística 5.0, se identificó que China es el país que toma la delantera en la investigación de la logística 5.0 ; mientras que el continente Europeo ocupa 7 de las primeras 10 posiciones en los países con más producción científica en temas relacionados con la implementación de la logística 5.0; por lo que se puede concluir que en esta región se darán avances importantes en los próximos años, y se debe monitorear de cerca las iniciativas europeas a nivel legislativo e industrial para poder implementarlas en otras regiones como el continente americano, donde lastimosamente solo 6 de los 35 países de América han los primeros pasos en el estudio de la logística 5.0.

El análisis bibliográfico, permitió identificar los desafíos a los que se está enfrentando la industria para poder hacer la transición a la industria 5.0 y por consiguiente dar paso a la logística 5.0 en las cadenas de suministro, lo que responde a la segunda pregunta de investigación. Estos desafíos fueron recopilados y agrupados en 5 categorías, mediante el análisis de los 93 artículos analizados en la revisión bibliográfica, y son los siguientes:

- Sinergia en los sistemas hombre-maquina.
- Costo de inversión en tecnología.
- Implicaciones jurídicas.
- Seguridad de la información.
- Mano de obra calificada.

Cabe resaltar que de acuerdo a los casos revisados, uno de los desafíos que requiere mayor atención son las implicaciones jurídicas surgidas de la implementación de procesos automatizados o de colaboración en la cadena logística, donde surgen debates entre los expertos sobre quien es el responsable en caso de accidentes y fallos, especialmente en el caso de los cobots y la controversia sobre las responsabilidades de las “personas electrónicas”. ¿ Se debe responsabilizar al proveedor de los servicios tecnológicos?, ¿Se debe establecer un tipo de seguro especial para este tipo de accidentes?, son algunas de las interrogantes para las que aun no se tienen respuesta.



Conclusiones y líneas futuras

Otro punto crítico es la seguridad de la información, ya que se encontraron varios casos de ataques realizados a empresas manufactureras, especialmente del sector automotriz, donde se ha puesto en riesgo información confidencial de clientes y proveedores; la implementación de sistemas interconectados por internet de las cosas implica más elementos donde puede fugarse información; por lo que es clave que los operadores reciban el entrenamiento adecuado para no caer en los intentos de ataques informáticos.

El alto costo de la inversión en tecnológica representará uno de los mayores desafíos para el salto a la logística 5.0, especialmente en regiones como Latinoamérica y el continente africano, donde pequeñas y medianas empresas experimentan dificultades para hacer la transición a la transformación digital propuesta en la industria 4.0.

10.7. Líneas futuras

A través del desarrollo del trabajo del fin de master surgieron varias interrogantes, las cuales, al no estar en el alcance definido para este trabajo de investigación, y por limitaciones de tiempo y recursos, no pudieron ser abordadas en este documento, por lo que se proponen como líneas de investigación futuras.

10.7.1. Logística 5.0 en América

En el desarrollo de esta investigación al aplicar los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron únicamente 10 artículos desarrollados en el continente americano, los cuales fueron desarrollados en Canadá, Estados Unidos, México, Colombia, Ecuador y Brasil; por lo que se propone realizar una nueva revisión de literatura ampliando los términos de búsqueda, tomando en consideración que en esta ronda no se obtuvieron muchos resultados de artículos generados en Estados Unidos, a pesar de que distintos reportes sobre el uso de tecnologías disruptivas en fábricas inteligentes y el uso de gemelos digitales, donde de acuerdo a reportes de expertos, se espera que América del Norte mantenga la cuota más alta durante el período de 2023-2028, dado que es un centro importante para las innovaciones tecnológicas y un adoptador temprano de nuevas tecnologías (Markets and Markets, 2024).

Otro aspecto importante a considerar es que expertos del Banco Interamericano de Desarrollo en su reporte de logística en América latina y el caribe, señalaron entre las iniciativas necesarias para incentivar la logística 4.0 en Latinoamérica, tanto en el sector público y privado, el desarrollo de programas de capacitación orientados a resolver las limitaciones de capital humano y los desequilibrios entre demanda tecnológica y fuerza laboral; así como el considerar los factores del contexto regional (como el costo relativo de mano de obra, la falta de capital humano, o las dificultades en la adquisición de tecnologías digitales avanzadas) en la elaboración de planes nacionales de digitalización logística (Calatayud & Montes, 2021).

Por lo tanto, se propone aplicar un instrumento de investigación orientado a realizar un diagnóstico para identificar si las empresas en la región latinoamericana están preparadas para empezar a implementar las tendencias de logística 5.0 en la región de América latina; y en caso de que se encuentren en la etapa de implementación, definir cuáles son los desafíos a los que se enfrentan, considerando que hace tres años se habían identificado una serie de barreras para la implementación de la industria 4.0 en la región.



10.7.2. Realidad Extendida en los procesos de formación de los estudiantes de ingeniería y operadores en el sector industrial de Honduras

En el año 2021 la Universidad Nacional Autónoma de Honduras abrió un centro innovación de realidad extendida (CIRE), teniendo como meta capacitar a 50 docentes y 1,900 estudiantes para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje y el desarrollo de aplicaciones; así como dotar de 750 licencias a distintas empresas en Honduras para desarrollar pruebas piloto para la implementación de la realidad extendida en los procesos de formación de las empresas. Como parte de la implementación de este proyecto, desde su fundación se han impartido formaciones anuales sobre el uso de la plataforma EON-XR, cuyo contenido se muestra en la figura 10.1.



Figura 10.3 Programa de capacitación del centro de innovación en realidad extendida (UNAH,2021)

Teniendo en cuenta que entre los desafíos identificados para la implementación de la logística 5.0 se identificó la falta de mano de obra calificada en el uso de las nuevas tecnologías, como ser la realidad aumentada, blockchain e internet de las cosas; así como la dificultad que representa para las empresas realizar la inversión económica para la adquisición de estas tecnologías, especialmente en el contexto de países como

Honduras, es de suma importancia sacar el máximo provecho de las herramientas de formación que doten a los estudiantes de las habilidades requeridas por las industrias en el contexto de la industria 5.0.

Como investigación futura se plantea realizar un estudio diagnóstico sobre los resultados de aplicación de la realidad extendida en los procesos de formación de los estudiantes de ingeniería en colaboración con el centro de realidad extendida de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras; y generar estadísticas de los resultados del proyecto de colaboración con las empresas del sector industrial donde se realizaron las pruebas piloto.

Referencias

- ABI Research. (2023). *An Exciting Future For Exoskeletons*. <https://www.abiresearch.com/blogs/2022/06/10/exciting-future-exoskeletons/>
- Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing 2022 11:1*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S13677-022-00314-5>
- Ahmad, J., Fanti, V., Caldwell, D. G., & Di Natali, C. (2024). Framework for the adoption, evaluation and impact of occupational Exoskeletons at different technology readiness levels: A systematic review. *Robotics and Autonomous Systems*, 179, 104743. <https://doi.org/10.1016/J.ROBOT.2024.104743>
- Angurala, M., & Khullar, V. (2024). Introduction and Role of Society 5.0 in Human-Centric Development. In *Artificial Intelligence and Society 5.0: Issues, Opportunities, and Challenges* (pp. 1–8). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003397052-1>
- Ani, P. (2024). *Cyber crime in the manufacturing sector worldwide | Statista*. Statista. <https://www.statista.com/topics/10742/manufacturing-industry-cyber-crime/#editorsPicks>
- Arica, E., Rostad, C. C., Henriksen, B., Hareide, E. J., & Andersen, T. K. (2021). Production Management in Norwegian Manufacturing Industry: The Implications of “The Norwegian Work Life Model.” *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2021*, 1407–1411. <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672864>
- Ashta, G., Finco, S., Battini, D., & Persona, A. (2023). Passive Exoskeletons to Enhance



Referencias

- Workforce Sustainability: Literature Review and Future Research Agenda. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 7339, 15(9), 7339. <https://doi.org/10.3390/SU15097339>
- Audi Media Center. (2020). *Audi is using augmented reality to increase efficiency in logistics planning* | Audi MediaCenter. <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/audi-is-using-augmented-reality-to-increase-efficiency-in-logistics-planning-13441>
- BBVA. (2024). *¿Qué es el transporte sostenible? El futuro de la logística y las ciudades*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-transporte-sostenible-el-futuro-del-sector-logistico-y-las-ciudades/>
- Bhargava, A., Bhargava, D., Kumar, P. N., Sajja, G. S., & Ray, S. (2022). Industrial IoT and AI implementation in vehicular logistics and supply chain management for vehicle mediated transportation systems. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(1), 673–680. <https://doi.org/10.1007/S13198-021-01581-2/METRICS>
- Börold, A., Schweers, D., & Freitag, M. (2023). Towards Multimodal Information Systems for Assisting Humans in Production and Logistics Processes. *Procedia CIRP*, 120, 1089–1094. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2023.09.130>
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284–310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>
- Brkovic, M., Čulibrk, J., Rikalovic, A., Tasić, N., & Bajic, B. (2023). *INDUSTRY 5.0 AND THE SKILLS GAP: STRATEGIES FOR DEVELOPING A FUTUREREADY WORKFORCE*. 360–365. https://doi.org/10.24867/IS-2023-T6.2-2_04941
- Brunetti, D., Gena, C., & Vernerero, F. (2022). Smart Interactive Technologies in the Human-Centric Factory 5.0: A Survey. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 7965, 12(16), 7965. <https://doi.org/10.3390/APP12167965>
- Brzozowska, M., Kolasińska-Morawska, K., Sułkowski, Ł., & Morawski, P. (2023). Artificial-intelligence-powered customer service management in the logistics industry. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 11(4), 109–121. <https://doi.org/10.15678/EBER.2023.110407>
- Business Insider. (2020). *AliExpress contrata a Glovo para repartir paquetes en Madrid y Barcelona*. <https://www.businessinsider.es/aliexpress-contrata-glovo-repartir-paquetes-madrid-barcelona-769403>
- Calatayud, A., & Montes, L. (2021). Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción. *Logística En América Latina y El Caribe: Oportunidades, Desafíos y Líneas de Acción*.

<https://doi.org/10.18235/0003278>

- Carrera-Rivera, A., Ochoa, W., Larrinaga, F., & Lasa, G. (2022). How-to conduct a systematic literature review: A quick guide for computer science research. *MethodsX*, 9, 101895. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2022.101895>
- Chan, H. L., & Choi, T. M. (2023). Logistics management for the future: the IJLRA framework. *International Journal of Logistics Research and Applications*. <https://doi.org/10.1080/13675567.2023.2286352>
- China Daily. (2024). *Charging and swapping station in Xinjiang empowers green economy*. <https://www.chinadaily.com.cn/a/202409/06/WS66da4b59a3103711928a6610.html>
- Chu, C. H., & Pan, J. K. (2024). A Systematic Review on Extended Reality Applications for Sustainable Manufacturing Across the Product Lifecycle. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 11(3), 1017–1028. <https://doi.org/10.1007/S40684-023-00567-8/METRICS>
- Cimini, C., Lagorio, A., Cavalieri, S., Riedel, O., Pereira, C. E., & Wang, J. (2022). Human-technology integration in smart manufacturing and logistics: current trends and future research directions. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108261. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108261>
- Cochrane Consumers and Communication Review Group. (2011). Criteria for judging risk of bias. *Cochrane Consumers and Communication Review Group*, August. http://back.cochrane.org/sites/back.cochrane.org/files/uploads/PDF/ROB_criteria_Aug2011.pdf
- Cohen, A. (2024). Top 7 Trends In Human Machine Interface HMI. In *Verified market reports*. <https://www.verifiedmarketreports.com/blog/top-7-trends-in-human-machine-interface-hmi/>
- Dabo, A. A. A., & Hosseinian-Far, A. (2023). An Integrated Methodology for Enhancing Reverse Logistics Flows and Networks in Industry 5.0. *Logistics*, 7(4), 1–26. <https://doi.org/10.3390/LOGISTICS7040097>
- Daios, A., Xanthopoulos, A., Folinias, D., & Kostavelis, I. (2024). Towards automating stocktaking in warehouses: Challenges, trends, and reliable approaches. *Procedia Computer Science*, 232, 1437–1445. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2024.01.142>
- Dananjayan, S. K. ;, Agarwal, D. ;, Thariq, A., Kumar Tyagi, A., Dananjayan, S., Agarwal, D., Farhana, H., & Ahmed, T. (2023). Blockchain—Internet of Things Applications: Opportunities and Challenges for Industry 4.0 and Society 5.0. *Sensors 2023, Vol. 23, Page 947*, 23(2), 947. <https://doi.org/10.3390/S23020947>
- Davranış Araştırmaları Dergisi, Ö., Bora ORAN, I., & Recai CEZAYIRLIOGLU, H.



Referencias

- (2021). AI - Robotic Applications in Logistics Industry and Savings Calculation. *Journal of Organizational Behavior Research*, 6(1–2021), 148–165. <https://doi.org/10.51847/JUXQMVCVQF>
- Davranış, Ö., Dergisi, A., Bora Oran, İ., Ayboğa, H., Erol, M., & Yildiz, G. (2022). The Necessity of Transition from Industry 4.0 To Industry 5.0: SWOT Analysis of Turkey's SCM Strategy. *Journal of Organizational Behavior Research*, 7(2–2022), 1–17. <https://doi.org/10.51847/VRFR9HDVBH>
- Description of the Systematic Literature Review Method*. (n.d.). Retrieved July 3, 2024, from <https://www.tu.berlin/en/wm/bibliothek/research-teaching/systematic-literature-reviews/description-of-the-systematic-literature-review-method>
- Dhawan, K., Tookey, J. E., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2022). Greening Construction Transport as a Sustainability Enabler for New Zealand: A Research Framework. *Frontiers in Built Environment*, 8, 871958. <https://doi.org/10.3389/FBUIL.2022.871958/BIBTEX>
- DHL. (2015). *DHL successfully tests augmented reality application in warehouse | Delivered | Global*. <https://www.dhl.com/global-en/delivered/digitalization/dhl-successfully-tests-augmented-reality-application-in-warehouse.html>
- DHL. (2018). *BLOCKCHAIN IN LOGISTICS Perspectives on the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry 2018*.
- DHL. (2023). *Sabroso y sostenible: DHL Supply Chain incluye vehículos eléctricos refrigerados en la distribución de chocolates Mondelez - DHL - México*. <https://www.dhl.com/mx-es/home/prensa/archivo-de-prensa/2023/sabroso-y-sostenible-dhl-supply-chain-incluye-vehiculos-electricos-refrigerados-en-la-distribucion-de-chocolates-mondelez.html>
- Doyle-Kent, M., & Kopacek, P. (2022). Collaborative Robotics Making a Difference in the Global Pandemic. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 161–169. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90421-0_13
- Du, P., He, X., Cao, H., Garg, S., Kaddoum, G., & Hassan, M. M. (2023). AI-based energy-efficient path planning of multiple logistics UAVs in intelligent transportation systems. *Computer Communications*, 207, 46–55. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2023.04.032>
- EIT Manufacturing. (2020). *Learning Factory - EIT Manufacturing*. <https://www.eitmanufacturing.eu/what-we-do/education/resources/learning-factory/>
- Elorza López, N., Vázquez Alonso, C. A., González Rodríguez, C., González Villela, V. J., Macedo Chagolla, F., & Sánchez Ruiz, L. A. (2023). *Development of Intelligent Systems in 5.0 Supply Chains using Unmanned Aerial Vehicles*.

- European Commission. (2022). *Industry 5.0 - A Transformative Vision for Europe | Interreg Europe - Sharing solutions for better policy*. Publications Office of the European Union, Directorate-General for Research and Innovation. <https://www.interregeurope.eu/policy-learning-platform/news/industry-50-a-transformative-vision-for-europe>
- European Union. (2022). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe - European Commission*. Publications Office of the European Union, Directorate-General for Research and Innovation. <https://doi.org/doi: 10.2777/17322>
- European Union, P. O. of the E. (2021). *Industry 5.0 : towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Ford Media Center. (2024). *DHL Express España refuerza su última milla sostenible de la mano de Ford Pro y añade 46 E-Transit a su flota*. Ford Media Center. <https://media.lincoln.com/content/fordmedia/feu/es/es/news/2024/04/11/dhl-express-espana-refuerza-su-ultima-milla-sostenible-de-la-man.html>
- Fortune business insights. (2024a). *Asia Pacific Smart Manufacturing Market Size, Share [2030]*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/asia-pacific-smart-manufacturing-market-107753>
- Fortune business insights. (2024b). *Europe Smart Manufacturing Market Size | Forecast [2030]*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/europe-smart-manufacturing-market-107754>
- Gao, L., Xia, X., Zheng, Z., Xiang, H., Meng, Z., Han, X., Zhou, Z., He, Y., Wang, Y., Li, Z., Zhang, Y., & Ma, J. (2024). Cooperative Localization in Transportation 5.0. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 9(3), 4259–4264. <https://doi.org/10.1109/TIV.2024.3377163>
- García, O. R., Chaminade, T., Thurow, K., Taesi, C., Aggogeri, F., & Pellegrini, N. (2023). COBOT Applications—Recent Advances and Challenges. *Robotics 2023, Vol. 12, Page 79, 12(3)*, 79. <https://doi.org/10.3390/ROBOTICS12030079>
- Grand View Research. (2024). *Digital Twin Market Size, Share And Growth Report, 2030*. <https://doi.org/GVR-2-68038-494-9>
- Grandi, F., Prati, E., Mangia, G., & Peruzzini, M. (2023). Development of an AR-Based Application for Training of Warehouse Operators. *Lecture Notes in Networks and Systems, 745 LNNS*, 121–132. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38274-1_11
- Grosse, E. H. (2024). Application of supportive and substitutive technologies in manual warehouse order picking: a content analysis. *International Journal of Production Research*, 62(3), 685–704. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2169383>
- Grosse, E. H., Sgarbossa, F., Berlin, C., & Neumann, W. P. (2023). Human-centric production and logistics system design and management: transitioning from Industry 4.0 to Industry 5.0. *International Journal of Production Research*, 61(22),



Referencias

- 7749–7759. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2246783>
- Guo, J., Chen, L., Li, L., Na, X., Vlacic, L., & Wang, F. Y. (2024). Advanced Air Mobility: An Innovation for Future Diversified Transportation and Society. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 9(2), 3106–3110. <https://doi.org/10.1109/TIV.2024.3377464>
- Gusmerotti, N. M., Testa, F., Corsini, F., Pretner, G., & Iraldo, F. (2019). Drivers and approaches to the circular economy in manufacturing firms. *Journal of Cleaner Production*, 230, 314–327. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.05.044>
- Hayashi, Y. (2019). Innovation and Development Policy Japanese Science and Technology Basic Plan: A Perspective of Policy Process. *Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency*. <https://doi.org/10.3724/SP.J.2096-5141.2019.0003>
- Hayes, B., & Scassellati, B. (2013). Challenges in Shared-Environment Human-Robot Collaboration. *Yale University*.
- Heitlinger, P. (2023). *Drones transform traditional inventory counting | Nokia*. NOKIA. <https://www.nokia.com/blog/nokias-autonomous-monitoring-service-looks-to-upend-warehouse-industry/>
- Helge, K., & McKinnon, L. F. (2013). Preparing faculty, administration, and students for Web 2.0 tools, and an introduction to Web 3.0. *The Teaching Librarian*, 111–132. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-733-0.50005-5>
- Hernandez, R., Mujica, G., Portilla, J., & Parrilla, F. (2023). Internet of Things Technology for Train Positioning and Integrity in the Railway Industry Domain. *Proceedings of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium 2023, NOMS 2023*. <https://doi.org/10.1109/NOMS56928.2023.10154308>
- Hispaniación. (2024). *Google se adhiere al servicio GoGreen Plus de DHL Express y utilizará combustible SAF para reducir las emisiones del transporte logístico aéreo*. Hispaniación. <https://www.hispaviacion.es/google-se-adhiere-al-servicio-gogreen-plus-de-dhl-express-y-utilizara-combustible-saf-para-reducir-las-emisiones-del-transporte-logistico-aereo/>
- Hofer, A. (2022). *Five Examples of Green Supply Chain Management*. SOFTEQ. <https://www.softeq.com/blog/green-supply-chain-management-use-cases-and-benefits>
- Hofmann, E., Sternberg, H., Chen, H., Pflaum, A., & Prockl, G. (2019). Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 49(10), 945–955. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-11-2019-399/FULL/PDF>
- IBM. (2024). *Digital assistant - IBM Documentation*.

<https://www.ibm.com/docs/en/rpa/23.0?topic=intelligence-digital-assistant>

- Ignatius, H. T. N., & Bahsoon, R. (2024). Equity, Equality, and Need: Digital Twin Approach for Fairness-Aware Task Assignment of Heterogeneous Crowdsourced Logistics. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 11(3), 3420–3431. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2023.3321940>
- Ingka. (2023). *One hundred drones now used across IKEA retail for stock inventory | Ingka Group*. <https://www.ingka.com/newsroom/one-hundred-drones-now-used-across-ikea-retail-for-stock-inventory/>
- Inkulu, A. K., Bahubalendruni, M. V. A. R., Dara, A., & SankaranarayanaSamy, K. (2022). Challenges and opportunities in human robot collaboration context of Industry 4.0 - a state of the art review. *Industrial Robot*, 49(2), 226–239. <https://doi.org/10.1108/IR-04-2021-0077/FULL/XML>
- Interempresas. (2020). *La automatización de las tareas de packaging con cobots permite mejorar el tiempo de ciclo de producción - Automatización en la Industria 4.0*. <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/309215-automatizacion-tareas-packaging-cobots-permite-mejorar-tiempo-ciclo-produccion.html>
- Issaoui, Y., Khiat, A., Bahnasse, A., & Ouajji, H. (2019). Smart logistics: Study of the application of blockchain technology. *Procedia Computer Science*, 160, 266–271. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.09.467>
- Ivanov, D. (2024). Conceptualisation of a 7-element digital twin framework in supply chain and operations management. *International Journal of Production Research*, 62(6), 2220–2232. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2217291>
- Jeong, Y., Flores-García, E., Piontek, S., & Wiktorsson, M. (2023). Implementing transmission of data for digital twins in human-centered cyber-physical systems. *Procedia CIRP*, 120, 992–997. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2023.09.113>
- Joshi, P., Gupta, A., Gupta, O., & Srivastava, S. K. (2023). Adoption of AI in Logistics: A Bibliometric Analysis. *Proceedings - 4th IEEE 2023 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems, ICCIS 2023*, 708–712. <https://doi.org/10.1109/ICCIS60361.2023.10425277>
- Kalenyuk, I., Lukyanenko, L., Tsymbal, L., Stankevics, A., & Uninets, I. (2023). THE SMART MANUFACTURING: IMPERATIVES AND TRENDS. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 5(52), 327–340. <https://doi.org/10.55643/FCAPTP.5.52.2023.4126>
- Karmaker, C. L., Bari, A. B. M. M., Anam, M. Z., Ahmed, T., Ali, S. M., de Jesus Pacheco, D. A., & Moktadir, M. A. (2023). Industry 5.0 challenges for post-pandemic supply chain sustainability in an emerging economy. *International Journal of Production Economics*, 258, 108806. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.108806>
- Karvouniari, A., Michalos, G., Dimitropoulos, N., & Makris, S. (2018). An approach for



Referencias

- exoskeleton integration in manufacturing lines using Virtual Reality techniques. *Procedia CIRP*, 78, 103–108. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2018.08.315>
- Klein, M., & Spsychalska-Wojtkiewicz, M. (2023). Digitalization of small ports as a step in achieving sustainable goals. *Procedia Computer Science*, 225, 3381–3387. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2023.10.332>
- Klumpp, M., & Zijm, H. (2019). Logistics Innovation and Social Sustainability: How to Prevent an Artificial Divide in Human–Computer Interaction. *Journal of Business Logistics*, 40(3), 265–278. <https://doi.org/10.1111/JBL.12198>
- Kolade, O., & Owoseni, A. (2022). Employment 5.0: The work of the future and the future of work. *Technology in Society*, 71, 102086. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2022.102086>
- Kong, Y. K., Park, S. S., Shim, J. W., Choi, K. H., Shim, H. H., Kia, K., & Kim, J. H. (2023). A passive upper-limb exoskeleton reduced muscular loading during augmented reality interactions. *Applied Ergonomics*, 109, 103982. <https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2023.103982>
- Kopeinig, J., Woschank, M., & Olipp, N. (2024). Industry 4.0 Technologies and their Implications for Environmental Sustainability in the Manufacturing Industry. *Procedia Computer Science*, 232, 2777–2789. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2024.02.095>
- Kour, R., Karim, R., Dersin, P., & Venkatesh, N. (2024). Cybersecurity for Industry 5.0: trends and gaps. *Frontiers in Computer Science*, 6, 1434436. <https://doi.org/10.3389/FCOMP.2024.1434436/BIBTEX>
- Kymalainen, T. (2016). Introduction to the special session: Design and research for advanced human augmentation. *Proceedings - 12th International Conference on Intelligent Environments, IE 2016*, 144–146. <https://doi.org/10.1109/IE.2016.30>
- Laddha, S., & Agrawal, A. (2024). Unveiling barriers to Industry 5.0 adoption in supply chains: a DEMATEL approach. *RAUSP Management Journal*, 59(2), 123–137. <https://doi.org/10.1108/RAUSP-08-2023-0146/FULL/PDF>
- Lagorio, A., Cimini, C., Piffari, C., Galimberti, M., Pirola, F., & Pinto, R. (2023). Operationalisation and validation of a human factors-based decision support framework for technology adoption in the logistics sector. *International Journal of Logistics Research and Applications*. <https://doi.org/10.1080/13675567.2023.2235298>
- Lam, W. S., Lam, W. H., & Lee, P. F. (2023). A Bibliometric Analysis of Digital Twin in the Supply Chain. *Mathematics 2023, Vol. 11, Page 3350, 11(15)*, 3350. <https://doi.org/10.3390/MATH11153350>

- Laskowska, A., & Laskowski, J. F. (2022). “Silver” Generation at Work—Implications for Sustainable Human Capital Management in the Industry 5.0 Era. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 194, 15(1), 194. <https://doi.org/10.3390/SU15010194>
- Lau, Y. yip, Chan, E. M. H., & Nam, C. K. (2023). Macro Business Simulation Games Towards the Adoption of Education 5.0: Evidence from Hong Kong Maritime Logistics Students. *Lecture Notes in Educational Technology*, 219–230. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9315-2_12
- Leedom, M. (2024). *Drones Deliver Humanitarian Aid in Africa*. Think Global Health. <https://www.thinkglobalhealth.org/article/drones-deliver-humanitarian-aid-africa>
- Li, J., Qin, R., Olaverri-Monreal, C., Prodan, R., & Wang, F. Y. (2023). Logistics 5.0: From Intelligent Networks to Sustainable Ecosystems. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(7), 3771–3774. <https://doi.org/10.1109/TIV.2023.3295796>
- Ling, S., Yuan, Y., Yan, D., Leng, Y., Rong, Y., & Huang, G. Q. (2024). RHYTHMS: Real-time Data-driven Human-machine Synchronization for Proactive Ergonomic Risk Mitigation in the Context of Industry 4.0 and Beyond. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 87, 102709. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2023.102709>
- Ma, Z., Ma, S., Wang, S., Ma, Z., Ma, S., & Wang, S. (2023). *Perspective Chapter: Transportation 5.0 – From Cyber-Physical Transportation Systems to Cyber-Physical-Social Transportation Systems*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.1003674>
- Maersk. (2023). *Nestlé cuts ocean transport emissions with Maersk’s ECO Delivery solution by over 80%*. <https://www.maersk.com/news/articles/2023/12/06/nestle-cuts-ocean-transport-emissions-with-maersk-eco-delivery-solution>
- Manohar, S., Tolani, K., & Mittal, A. (2023). Redefining mobility for society 5.0: Electric vehicles for sustainable transportation. In *Innovations and Sustainability in Society 5.0* (pp. 243–261). Nova Science Publishers, Inc.
- Markets and Markets. (2024). *Digital Twin Market Size, Share, Industry Report, Revenue Trends and Growth Drivers*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html>
- Mazur, S. (2020). *An Introduction to Smart Transportation: Benefits and Examples | Digi International*. Digi. <https://www.digi.com/blog/post/introduction-to-smart-transportation-benefits>
- Mejía-Moncayo, C., Kenné, J. P., & Hof, L. A. (2023). On the development of a smart architecture for a sustainable manufacturing-remanufacturing system: A literature review approach. *Computers & Industrial Engineering*, 180, 109282. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.109282>



Referencias

- Mohsen, B. M. (2023). Impact of Artificial Intelligence on Supply Chain Management Performance. *Journal of Service Science and Management*, 16, 44–58. <https://doi.org/10.4236/jssm.2023.161004>
- Muhammad, Z. (2023). *What do Toyota's data breaches teach us about cybersecurity?* TECHWIRE ASIA. <https://techwireasia.com/2023/12/how-has-toyota-suffered-so-many-data-breaches/>
- National Research Council of Science & Technology. (2022). *Industrial Internet of Things: Real-time remote control of smart factory between Korea and Finland*. <https://techxplore.com/news/2022-06-industrial-internet-real-time-remote-smart.html>
- Nicoletti, B., & Appolloni, A. (2023). Framework of IoT, blockchain, digital twins, and artificial intelligence solutions in support of the digital business transformation of logistics 5.0. *Supporting Technologies and the Impact of Blockchain on Organizations and Society*, 195–219. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-5747-4.CH012>
- Oettl, F., Eckart, L., & Schilp, J. (2023). Cost estimation approach of a digital twin implementation in industry. *Procedia CIRP*, 118, 318–323. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2023.06.055>
- OTORIO. (2024). *Cyber Security: Threats to The Automotive Industry | OTORIO*. <https://www.otorio.com/blog/ransomware-the-cyber-attacks-on-the-automotive-industry/>
- Pacher, C., Woschank, M., & Zunk, B. M. (2023). The Role of Competence Profiles in Industry 5.0-Related Vocational Education and Training: Exemplary Development of a Competence Profile for Industrial Logistics Engineering Education. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 3280, 13(5), 3280. <https://doi.org/10.3390/APP13053280>
- Panter, L., Leder, R., Keiser, D., & Freitag, M. (2024). Requirements for Human-Machine-Interaction Applications in Production and Logistics within Industry 5.0 – A Case Study Approach. *Procedia Computer Science*, 232, 1164–1171. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2024.01.114>
- Parlamento Europeo. (2014). PROYECTO DE INFORME con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica. In *Comisión de Asuntos Jurídicos*. <https://doi.org/PE582.443v01-00>
- Patil, B. A., Kulkarni, M. S., & Rao, P. V. M. (2019). New Product Development (NPD) Process in the Context of Industry 4.0. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1231–1235. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978740>

- Pereira, A. C., Alves, A. C., & Arezes, P. (2023). Augmented Reality in a Lean Workplace at Smart Factories: A Case Study. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 9120, 13(16), 9120. <https://doi.org/10.3390/APP13169120>
- Pfeiffer, S. (2017). The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded. *NanoEthics*, 11(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/S11569-016-0280-3/METRICS>
- Piffari, C., Lagorio, A., & Pinto, R. (2023). Toward Homecare Logistics 5.0: A Systematic Literature Review. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 745 LNNS, 235–246. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38274-1_20
- Pinto, R., Žilka, M., Zanolli, T., Kolesnikov, M. V., & Gonçalves, G. (2024). Enabling Professionals for Industry 5.0: The Self-Made Programme. *Procedia Computer Science*, 232, 2911–2920. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2024.02.107>
- Pinzone, M., Albè, F., Orlandelli, D., Barletta, I., Berlin, C., Johansson, B., & Taisch, M. (2020). A framework for operative and social sustainability functionalities in Human-Centric Cyber-Physical Production Systems. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105132. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2018.03.028>
- Pizoń, J., Wójcik, Ł., Gola, A., Kański, Ł., & Nielsen, I. (2024). Autonomous Mobile Robots in Automotive Remanufacturing: A Case Study for Intra-Logistics Support. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 18(1), 213–230. <https://doi.org/10.12913/22998624/177398>
- Plakas, G., Ponis, S. T., Agalinos, K., Aretoulaki, E., & Gayalis, S. P. (2020). Augmented Reality in Manufacturing and Logistics: Lessons Learnt from a Real-Life Industrial Application. *Procedia Manufacturing*, 51, 1629–1635. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.10.227>
- Post & Parcel. (2018). *GEODIS and DELTA DRONE unveil “completely automatic” warehouse inventory system | Post & Parcel.* <https://postandparcel.info/95545/news/innovation/geodis-and-delta-drone-unveil-completely-automatic-warehouse-inventory-system/>
- Qu, Y., Zhao, N., & Zhang, H. (2024). Digital Twin Technology of Human–Machine Integration in Cross-Belt Sorting System. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 37(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/S10033-024-01012-W/FIGURES/13>
- Qviro. (2023). *How Much Does a Cobot Actually Cost?* <https://qviro.com/blog/cobot-price/>
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.03.108>
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of Blockchain Technology in



Referencias

- Manufacturing Supply Chain and Logistics. *Logistics 2022*, Vol. 6, Page 15, 6(1), 15. <https://doi.org/10.3390/LOGISTICS6010015>
- Rockwell Automation. (2023). *8th Annual State of Smart Manufacturing | Plex*. <https://www.plex.com/resources/8th-annual-state-of-smart-manufacturing?download=1>
- Rodríguez, A. (2024). *URSA utilizó cerca de un 70% de material reciclado en la fabricación de sus materiales en 2023*. Calor y Frío. <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/ursa-utilizo-cerca-70-material-reciclado-fabricacion-materiales-reutilizacion-casi-36-000-toneladas-residuos-2023.html>
- Rupa, C., Midhunchakkaravarthy, D., Hasan, M. K., Alhumyani, H., Saeed, R. A., Rupa, C., Midhunchakkaravarthy, D., Hasan, M. K., Alhumyani, H., & Saeed, R. A. (2021). Industry 5.0: Ethereum blockchain technology based DApp smart contract. *Mathematical Biosciences and Engineering 2021* 5:7010, 18(5), 7010–7027. <https://doi.org/10.3934/MBE.2021349>
- Sabuncu, Ö., & Bilgehan, B. (2024). Revolutionizing healthcare 5.0: Blockchain-driven optimization of drone-to-everything communication using 5G network for enhanced medical services. *Technology in Society*, 77, 102552. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2024.102552>
- Safety4sea. (2024). *Korean giants shake hands to advance smart shipping - SAFETY4SEA*. <https://safety4sea.com/korean-giants-shake-hands-to-advance-smart-shipping/>
- SAP insights. (2022). *¿Qué es una smart factory? | SAP Insights*. <https://www.sap.com/latinamerica/products/scm/what-is-a-smart-factory.html>
- Sarfraz, Z., Sarfraz, A., Iftikar, H. M., & Akhund, R. (2021). Is COVID-19 pushing us to the Fifth Industrial Revolution (Society 5.0)? *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 37(2), 591. <https://doi.org/10.12669/PJMS.37.2.3387>
- Shafto, M., Rich, M. C., Glaessgen, D. E., Kemp, C., Lemoigne, J., & Wang, L. (2010). *DRAFT MoDeling, SiMulATion, inFoRMATion Technology & PProceSSing RoADMAP Technology Area 11*.
- Shahbakhsh, M., Emad, G. R., & Cahoon, S. (2022). Industrial revolutions and transition of the maritime industry: The case of Seafarer's role in autonomous shipping. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38(1), 10–18. <https://doi.org/10.1016/J.AJSL.2021.11.004>
- Shukla, M., Vipin, B., & Sengupta, R. N. (2022). Impact of dynamic flexible capacity on reverse logistics network design with environmental concerns. *Annals of Operations Research*, 1–26. <https://doi.org/10.1007/S10479-022-04565->

Y/METRICS

- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital Twin: Origin to Future. *Applied System Innovation 2021, Vol. 4, Page 36, 4(2)*, 36. <https://doi.org/10.3390/ASI4020036>
- Smart Port. (2019). *Smart ships and the changing maritime ecosystem*.
- Sorto-Bueso, J. R., Ortega-Jiménez, C. H., & Del Cid Carrasco, J. E. (2023). The New Products Development: Effect of integration between Industry 4.0 and Supply Chain Management. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1256>
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Jesemann, I., Krause, T., & Schlund, S. (2013). Industry 4.0-manufacturing work of the future survey results. *22nd International Conference on Production Research, ICPR 2013*, Parana.
- Suciu, M. C., Plesea, D. A., Petre, A., Simion, A., Mituca, M. O., Dumitrescu, D., Bocaneala, A. M., Moroianu, R. M., & Nasulea, D. F. (2023). Core Competence—As a Key Factor for a Sustainable, Innovative and Resilient Development Model Based on Industry 5.0. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 7472, 15(9)*, 7472. <https://doi.org/10.3390/SU15097472>
- Sun, X., Yu, H., & Solvang, W. D. (2023). A Digital Reverse Logistics Twin for Improving Sustainability in Industry 5.0. *IFIP Advances in Information and Communication Technology, 690 AICT*, 273–286. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43666-6_19
- Technology Ally. (2024). *Augmented Reality App Development Cost in 2024*. <https://www.technologyally.com/blog/augmented-reality-app-development-cost/>
- Tsang, Y. P., Yang, T., Chen, Z. S., Wu, C. H., & Tan, K. H. (2022). How is extended reality bridging human and cyber-physical systems in the IoT-empowered logistics and supply chain management? *Internet of Things, 20*, 100623. <https://doi.org/10.1016/J.IOT.2022.100623>
- UNEP. (2023). *Green Economy | UNEP - UN Environment Programme*. UNEP. <https://www.unep.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/supporting-resource-efficiency/green-economy>
- University of Oslo. (n.d.). *The Norwegian work model - For employees - University of Oslo*. Retrieved August 14, 2024, from <https://www.uio.no/english/for-employees/employment/joining-leaving/new/units/nhm/the-norwegian-work-model/>
- UPS. (2023). *UPS adquirirá Happy Returns, un líder de logística inversa*. <https://about.ups.com/us/es/newsroom/press-releases/customer-first/ups-to-acquire-hr.html>
- Visartech. (2023). *A Guide to Digital Twin Development*. <https://www.visartech.com/blog/digital-twin-solution-development-guide/>



Referencias

- Wang, C., Zhu, F., & Qian, Y. (2022). Bibliometric-based visualization knowledge graph analysis of smart factory. *SPIE*, 12261, 122614A. <https://doi.org/10.1117/12.2638918>
- Wang, F.-Y., Yang, J., Wang, X., Li, J., Han, Q.-L., Wang, F.-Y., Yang, J., Wang, X., Li, J., & Han, Q.-L. (2023). Chat with ChatGPT on Industry 5.0: Learning and Decision-Making for Intelligent Industries. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2023, Vol. 10, Issue 4, Pages: 831-834, 10(4), 831–834. <https://doi.org/10.1109/JAS.2023.123552>
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2022). Smart warehouses—a sociotechnical perspective. *The Digital Supply Chain*, 47–60. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91614-1.00003-4>
- Xie, J., Liu, S., & Wang, X. (2022). Framework for a closed-loop cooperative human Cyber-Physical System for the mining industry driven by VR and AR: MHCPS. *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108050. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108050>
- Yalman, B. (2024). Electronic Personhood: A Compact Analysis of Legal Personality for Artificial Intelligence. *Ex/Ante*, 2024(1), 3–13. https://doi.org/10.3256/978-3-03929-059-8_02
- Yao, J. F., Yang, Y., Wang, X. C., & Zhang, X. P. (2023). Systematic review of digital twin technology and applications. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art* 2023 6:1, 6(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/S42492-023-00137-4>
- Yellig, J. (2024). *Drones to Deliver Medical Supplies to Dublin Hospitals*. IOT World Today. <https://www.iotworldtoday.com/transportation-logistics/drones-to-deliver-medical-supplies-to-dublin-hospitals>
- Yepes-Nuñez, J. J., Urrútia, G., Romero-García, M., & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2021.06.016>
- Yin, Y. H., Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Zhu, J. Y., Gu, P. H., & Chen, L. J. (2015). Automating design with intelligent human–machine integration. *CIRP Annals*, 64(2), 655–677. <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2015.05.008>
- Yu, H. (2022). Modeling a remanufacturing reverse logistics planning problem: some insights into disruptive technology adoption. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 123(11–12), 4231–4249. <https://doi.org/10.1007/S00170-022-10387-W/FIGURES/3>
- Yu, H., & Sun, X. (2024). Uncertain remanufacturing reverse logistics network design in industry 5.0: Opportunities and challenges of digitalization. *Engineering*

Applications of Artificial Intelligence, 133, 108578.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAI.2024.108578>

Zeck, M., & Zeck, M. (2023). AI in the Company: Is the Employer or the AI as an e-Person Liable? *Work and AI 2030: Challenges and Strategies for Tomorrow's Work*, 85–93. https://doi.org/10.1007/978-3-658-40232-7_10

Zhang, S. Q., Zheng, W. L., Wang, J. W., & Gao, J. (2018). Impacts of Technological Progress, Structural Adjustment on Energy-Related Carbon Emissions Intensity in Logistics Industry: Empirical Research on Beijing-Tianjin-Hebei Region. *CICTP 2018: Intelligence, Connectivity, and Mobility - Proceedings of the 18th COTA International Conference of Transportation Professionals*, 2354–2364. <https://doi.org/10.1061/9780784481523.233>

Zheng, T., Grosse, E. H., Morana, S., & Glock, C. H. (2024). A review of digital assistants in production and logistics: applications, benefits, and challenges. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2330631>

Zhou, F., Yu, K., Xie, W., Lyu, J., Zheng, Z., & Zhou, S. (2024). Digital Twin-Enabled Smart Maritime Logistics Management in the Context of Industry 5.0. *IEEE Access*, 12, 10920–10931. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3354838>