



**EDUCACIÓN**

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

# Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación  
y Desarrollo Tecnológico

## Tesis de Maestría

**Revisión sistemática del uso de tecnologías  
inteligentes enfocadas en los procesos de las  
industrias sostenibles**

presentada por

**Ing. Karime Baltazar Alcaraz**

como requisito para la obtención del grado  
de

**Maestra en Ciencias de la Ingeniería**

Directora de tesis

**M.C. Rosa Olivia Maquinay Díaz**

Codirectora de tesis

**Dra. Alicia Martínez Rebollar**

Cuernavaca, Morelos, México. Junio de 2024.

Cuernavaca, Mor.,  
No. De Oficio:  
Asunto:

**07/junio/2024**  
**SAC/185/2024**  
**Autorización de  
impresión de tesis**

**KARIME BALTAZAR ALCARAZ**  
**CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS**  
**DE LA INGENIERÍA**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado **“Revisión sistemática del uso de tecnologías inteligentes enfocadas en los procesos de las industrias sostenibles”**, ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*“Conocimiento y tecnología al servicio de México”*



**CARLOS MANUEL ASTORCA ZARAGOZA**  
**SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA**  
**SUBDIRECTOR ACADÉMICO**

C. c. p. Coordinación de Ciencias de la Ingeniería  
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/lmz



Cuernavaca, Mor., 04/junio/2024

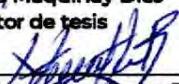
OFICIO No. DIM/021/2024

**Asunto:** Aceptación de documento de tesis  
CENIDET-AC-004-M14-OFICIO

**DR. CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA**  
**SUBDIRECTOR ACADÉMICO**  
**PRESENTE**

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial de la C. Karime Baltazar Alcaraz con número de control M22CE075, de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado **“Revisión sistemática del uso de tecnologías inteligentes enfocadas en los procesos de las industrias sostenibles”** y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

  
Mtra Rosa Olivia Maquinay Dias  
Director de tesis

  
M.C. Nayeli del Milagro Hernández Barba  
Revisor 1

  
Dra. Alicia Martínez Rebollar  
Codirector de tesis

  
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez  
Revisor 2

C.c.p. Depto. Servicios Escolares.  
Expediente / Estudiante  
Iniciales AMR/mrsr



---

## *AGRADECIMIENTOS*

---

A **Dios**, por darme la paz, la fuerza, la sabiduría y el entendimiento para poder lograr un objetivo más en mi vida. Agradezco profundamente todas las bendiciones que he recibido y reconozco que cada logro es un regalo de su gracia. Con gratitud y humildad, continúo mi camino sabiendo que su presencia está siempre conmigo.

A mi **esposo** y a mi **hijo** por ser el pilar y la fuente de motivación constante. Su amor incondicional y su apoyo inquebrantable son mi mayor fortaleza. Sin su presencia y aliento, este camino sería mucho más difícil de recorrer. Estoy eternamente agradecida por tenerlos a mi lado.

A mi **madre**, por ser el motivo de vida y de lucha ante las adversidades para lograr lo que quiero, por ser mi inspiración y mi fuerza para seguir adelante. Su presencia en mi vida es un regalo invaluable que atesoro con todo mi corazón.

Al **Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET)**, por el apoyo brindado del equipo del centro, quienes me han guiado y respaldado en cada paso de este viaje de aprendizaje y crecimiento personal y profesional. Su compromiso con la excelencia y la innovación ha sido una inspiración constante para mí.

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt)**, por brindarme el apoyo económico. Su contribución financiera ha sido fundamental para mi desarrollo académico y para hacer realidad mis aspiraciones educativas. Estoy agradecida por su compromiso con la educación y la investigación, y por el impacto positivo que han tenido en mi vida y en mi carrera profesional.

A mis **asesoras**, por estar conmigo en este camino brindándome su tiempo, sus conocimientos y su compromiso con mi desarrollo académico y profesional. Su orientación experta y su apoyo constante han sido fundamentales para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

# CONTENIDO

<b>Capítulo 1.</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Estado del arte .....	4
1.2.1 Conclusiones del estado del arte .....	17
1.3 Planteamiento del problema .....	18
1.4 Objetivos .....	19
1.4.1 General .....	19
1.4.2 Específicos .....	19
1.5 Alcances.....	20
1.6 Justificación.....	21
1.7 Estructura de la tesis .....	22
<b>Capítulo 2.</b> .....	23
<b>Marco conceptual</b> .....	23
2.1 Revisión sistemática.....	24
2.1.1 Criterios generales de una Revisión.....	25
2.1.2 Tipos de revisiones sistemáticas.....	26
2.2 Tecnologías inteligentes.....	28
2.3 Industria .....	29
2.4 Sostenibilidad .....	31
2.4.1 Lo económico .....	32
2.4.2 Lo social .....	32
2.4.3 Lo ecológico.....	33
<b>Capítulo 3.</b> .....	34
<b>Revisión sistemática</b> .....	34
3.1 Fase 1. Desarrollo de la pregunta de investigación .....	35
3.1.1 Diseño del protocolo .....	35
3.1.2 Definición de la pregunta .....	36

3.1.3 Definición del alcance .....	37
3.1.4 Identificación de los criterios de elegibilidad.....	38
3.1.5 Implementación de estrategias de búsqueda .....	39
3.2 Fase 2. Adquisición de la evidencia.....	40
3.2.1 Búsqueda bibliográfica.....	40
3.2.2 Aplicación de los criterios de inclusión y exclusión.....	41
3.2.3 Recolección de los artículos .....	42
3.2.4 Evaluación de la calidad de la información.....	42
3.2.5 Agrupación de los artículos evaluados para determinar los resultados .....	44
<b>Capítulo 4.</b> .....	<b>45</b>
<b>Resultados</b> .....	<b>45</b>
4.1 Fase 3. Resultados .....	46
4.1.1 Descripción de los resultados obtenidos .....	46
4.1.2 Tecnologías identificadas.....	49
4.1.3 Uso de las tecnologías inteligentes en procesos de manufactura .....	51
4.1.4 Beneficios del uso de las tecnologías inteligentes en los procesos de las industrias manufactureras.....	60
4.2 Discusión.....	62
<b>Capítulo 5.</b> .....	<b>64</b>
<b>Conclusiones y trabajos futuros</b> .....	<b>64</b>
5.1 Conclusiones.....	65
5.2 Trabajos futuros .....	66
5.3 Logros obtenidos.....	67
<b>Bibliografía</b> .....	<b>68</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 1 TIPOS DE REVISIONES.....	26
TABLA 2 REVOLUCIONES INDUSTRIALES.....	30
TABLA 3 PALABRAS CLAVE.....	36
TABLA 4 AGRUPACIÓN POR AÑO.....	47
TABLA 5 ARTÍCULOS RELEVANTES DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	78

## CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1 CARACTERÍSTICAS, TECNOLOGÍAS Y FACTORES HABILITADORES.....	15
FIGURA 2 EJEMPLOS DE TECNOLOGÍAS INTELIGENTES.....	29
FIGURA 3 PILARES DE LA SOSTENIBILIDAD.....	32
FIGURA 4 LO EQUITATIVO, LO SOPORTABLE Y LO VIABLE DE LA SOSTENIBILIDAD.....	33
FIGURA 5 METODOLOGÍA COCHRANE.....	35
FIGURA 6 CADENA DE BÚSQUEDA.....	40
FIGURA 7 PROCESO PARA OBTENER LOS RESULTADOS.....	46
FIGURA 8 PUBLICACIÓN POR AÑO.....	47
FIGURA 9 PUBLICACIONES EN REVISTAS O CONGRESOS.....	48
FIGURA 10 TECNOLOGÍAS IDENTIFICADAS.....	49
FIGURA 11 LÍNEA DEL TIEMPO DE LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES.....	50
FIGURA 12 USO DEL INTERNET DE LAS COSAS.....	52
FIGURA 13 PROCESO DE FABRICACIÓN DE AEROGENERADORES.....	54
FIGURA 14 USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	56
FIGURA 15 RELACIÓN DE LAS PALABRAS CLAVE.....	58
FIGURA 16 CORRELACIÓN DE AUTORES.....	59
FIGURA 17 CORRELACIÓN DE AUTORES POR COLOR.....	60
FIGURA 18 BENEFICIOS DEL USO DE LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES.....	61

## Capítulo 1.

# Introducción

---

## 1.1 Introducción

En la actualidad, las industrias a nivel mundial están constantemente actualizando su infraestructura tecnológica. Este proceso implica la búsqueda y adquisición de nuevas tecnologías que permitan mejorar, desarrollar y, en ocasiones, reemplazar maquinaria y métodos técnicos. El objetivo es alcanzar mayores niveles de calidad, efectividad y eficiencia en las operaciones, lo que a su vez impulsa el crecimiento y desarrollo de diversos sectores de la sociedad. Este impulso hacia la adopción de tecnologías avanzadas se basa en el acceso al conocimiento y la experiencia de grupos de investigación, innovación y desarrollo. La aplicación de estas tecnologías se considera fundamental para que las industrias se vuelvan más inteligentes y competitivas en el mercado global. Las nuevas tecnologías, también conocidas como tecnologías inteligentes, son capaces de analizar y sistematizar grandes cantidades de datos para la toma de decisiones y la implementación de acciones. Esto representa un nuevo paradigma que permite aumentar la productividad al brindar velocidad y flexibilidad a través de la innovación digital. La introducción de la inteligencia artificial, dispositivos inteligentes y plataformas digitales en los procesos industriales ayuda a optimizar el uso de recursos y fomenta la creación de nuevos modelos de negocio. Esta transformación digital es fundamental para mantener la competitividad y adaptarse a un entorno empresarial en constante cambio (*Cioffi et al., 2020*). En la era actual, donde las empresas se encuentran cada vez más interconectadas globalmente y se valen de avances tecnológicos, es fundamental entender que estas tecnologías no son ajenas al proceso evolutivo. Más bien, son extensiones de nuestras capacidades y representan el resultado de una continua evolución como sociedad. En lugar de temer a estas herramientas tecnológicas, es imperativo comprenderlas, aprovechar sus capacidades y asegurar que su desarrollo y aplicación estén bajo control humano (*Ferreri Juan Carlos, 2021*).

Las tecnologías juegan un papel fundamental en el desarrollo de sistemas y soluciones, tales como productos o servicios, que cuentan con una mayor

autonomía, capacidad de adaptación a su entorno y eficacia en la resolución de problemas. En este contexto, la Inteligencia Artificial se destaca como una de las tecnologías principales, pero también se incluyen otras tecnologías relacionadas y complementarias, como el Internet de las Cosas, *blockchain*, ciencia de datos, sistemas autónomos, biometría, realidad virtual y aumentada, entre otras (Cepal, 2020). La fabricación inteligente desempeña un papel crucial en las economías nacionales al generar empleo, fomentar la innovación y promover la sostenibilidad (Alialabs, 2019). A medida que la industria avanza hacia una mayor sostenibilidad, el uso de tecnologías inteligentes en los procesos de manufactura se ha convertido en un tema de interés y relevancia.

Se resalta que las tecnologías están siendo cada vez más implementadas y adoptadas en diversos sectores industriales con el propósito de mejorar la eficiencia energética, reducir residuos, optimizar recursos y fomentar prácticas más sostenibles en los procesos de fabricación. Por lo tanto, esta revisión sistemática se centra en analizar y evaluar información relacionada con las tecnologías inteligentes y la eficacia de estas tecnologías en la transformación de las industrias manufactureras hacia prácticas más sostenibles para proporcionar una base sólida de conocimiento que pueda guiar futuras investigaciones y decisiones estratégicas en el campo de la manufactura sostenible y el uso de tecnologías inteligentes. Es fundamental comprender cómo estas tecnologías pueden ser aprovechadas de manera óptima para abordar los desafíos actuales relacionados con la sostenibilidad.

Los hallazgos de esta revisión resaltan 103 artículos los cuales se obtuvieron con base en la metodología *Cochrane* (Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011), de estos artículos se destacan cinco tecnologías más utilizadas en los procesos de las industrias manufactureras, las cuales son el internet de las cosas, el aprendizaje automático, la inteligencia artificial, los gemelos digitales y la fabricación aditiva conocida como impresión 3D, de todo el análisis se destaca que el año 2021 tuvo un pico más alto de investigación y la mayor parte de la información fue obtenida de revistas académicas con un 96.2 % y un 3.8% de congresos.

## 1.2 Estado del arte

El presente capítulo tiene como objetivo ofrecer un análisis del estado actual del conocimiento sobre las tecnologías inteligentes. Para comprender plenamente el panorama actual, es esencial explorar las investigaciones previas, los avances tecnológicos y las tendencias emergentes en este campo. A lo largo de este capítulo, se mencionarán los hallazgos clave y las contribuciones significativas de estudios previos, con el fin de establecer una base sólida para el desarrollo del presente trabajo. Se abordaron revisiones sistemáticas para obtener una visión integral de el uso de tecnologías inteligentes en procesos industriales en el contexto actual y así poder comprender cómo estas tecnologías pueden contribuir a mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la innovación en el ámbito manufacturero.

De acuerdo con el trabajo de *Cui et al* (2020), se llevó a cabo una revisión sistemática para identificar los problemas de datos en la manufactura, las capacidades de las herramientas de *big data*, los componentes esenciales para diseñar soluciones basadas en *big data* en la manufactura y las posibles direcciones de investigación en el campo del *big data* en la manufactura. En este trabajo se busca evaluar las capacidades del ecosistema de *big data* y los requisitos de la manufactura inteligente. Los hallazgos de esta revisión son la identificación de impulsores y componentes del ecosistema de *big data*, se revela que no existe una solución de *big data* lista para empresas en la literatura revisada y se proponen temas para futuras investigaciones, como son: modelado y simulación, conectividad e interoperabilidad, diseño de plataformas de *big data* estandarizadas, análisis de *big data* en tiempo real y ciberseguridad.

De acuerdo con el trabajo de *Cioffi et al* (2020), la revisión sistemática recopila datos secundarios de manera sistemática y proporciona ideas útiles para la comunidad científica. En este caso, se utilizó un protocolo para la revisión sistemática que define el objetivo de la investigación, describe las fuentes de revisión de literatura y selecciona estudios primarios. A través de la revisión

sistemática, se logra una categorización de la literatura reciente para analizar el estado del arte en relación con la digitalización, la sostenibilidad y la economía circular en la industria manufacturera. El objetivo de este trabajo es analizar cómo el desarrollo de tecnologías digitales puede promover modelos de economía circular en el sector industrial, centrándose en la sostenibilidad y la eficiencia de los procesos de fabricación. Donde los principales hallazgos son la importancia de la integración ciber-física como requisito fundamental para la manufactura inteligente, utilizar la tecnología *Blockchain* junto con algoritmos como la transformada de Fourier para optimizar procesos de manufactura, la presentación de un marco conceptual basado en la colaboración humano-robot para lograr una manufactura sostenible a nivel global y la sugerencia de implementar eficiencia inteligente del agua industrial en el contexto de una economía circular.

De acuerdo con el trabajo de *Mittal et al* (2018), se llevó a cabo una revisión sistemática para examinar los modelos de madurez de fabricación inteligente e Industria 4.0. El estudio busca identificar las características distintivas de las PYMEs y los vacíos de investigación que deben abordarse para apoyar con éxito a las PYMEs manufactureras en su progreso hacia la Industria 4.0. Donde los hallazgos destacan que el nivel inicial estándar de la mayoría de los modelos de madurez parece estar desconectado del verdadero nivel de madurez en digitalización y fabricación inteligente de muchas PYMEs, también resaltan la necesidad de adaptar los modelos existentes y desarrollar nuevas estrategias para satisfacer las necesidades específicas de las PYMEs en el contexto de la fabricación inteligente y la Industria 4.0.

De acuerdo con el trabajo de *Maroufkhani et al* (2023), se realizó una revisión sistemática para identificar los factores clave que determinan la adopción organizativa de tecnologías modernas necesarias para la transformación hacia la manufactura inteligente. Este estudio buscaba identificar y mapear las interrelaciones contextuales entre los factores habilitadores identificados. Se encontró que los factores impulsores clave son los beneficios percibidos y el apoyo de la gerencia, los cuales actúan como piedras angulares en la implementación de

tecnologías de información y digitales en manufactura inteligente. La madurez de la tecnología operativa y la madurez de la ciberseguridad se identificaron como determinantes dependientes de la implementación de tecnologías de información y digitales en manufactura inteligente.

De acuerdo con el trabajo de *Liao et al (2017)*, el objetivo de este trabajo es revisar y analizar de manera sistemática los avances académicos en temas relacionados con la cuarta revolución industrial, con el fin de proporcionar información sobre el pasado, presente y futuro de este tema. Este estudio se centra en realizar una revisión exhaustiva de la literatura dentro del ámbito de industria 4.0, abordando tanto el análisis general de los documentos incluidos como el análisis específico correspondiente a cada una de las sub-preguntas de investigación planteadas.

De acuerdo con *Zengin et al (2021)*, se llevó a cabo una revisión sistemática que ofrece una perspectiva sobre cómo la Industria 4.0 puede impactar positivamente en la gestión de la cadena de suministro desde una óptica de sostenibilidad. Además, se hace referencia a la importancia de considerar los aspectos ambientales, sociales y económicos al implementar tecnologías de la Industria 4.0 en la cadena de suministro. Se destaca la importancia de considerar aspectos de sostenibilidad ambiental, social y económica al implementar tecnologías de vanguardia en el contexto de la Industria 4.0 y la Sociedad 5.0. Los autores proponen integrar estos enfoques tecnológicos para avanzar hacia un desarrollo sostenible y cumplir con los objetivos de la agenda global.

De acuerdo con el trabajo de *Sjödin et al (2018)*, la revisión sistemática es un enfoque metodológico utilizado en la investigación para analizar y sintetizar de manera exhaustiva la evidencia disponible sobre un tema específico. En este estudio se realizaron estudios en profundidad en cinco fábricas de dos importantes fabricantes de automóviles para analizar los desafíos y los pasos clave necesarios para implementar el concepto de fábrica inteligente. Se obtuvo que los desafíos clave relacionados con la implementación de fábricas inteligentes, como la dificultad de adaptar rutinas y procesos de trabajo tradicionales a la transformación digital, la

lucha por mantenerse al día con el rápido desarrollo tecnológico, la falta de comprensión del potencial de las fábricas inteligentes, el exceso de datos que dificulta la toma de decisiones críticas y la falta de colaboración entre equipos de implementación en diferentes fábricas. Estos resultados resaltan la complejidad y los desafíos involucrados en la implementación exitosa de fábricas inteligentes.

De acuerdo con el trabajo de *Ng et al (2022)*, se llevó a cabo una revisión sistemática, su enfoque es en identificar las aplicaciones específicas de las tecnologías de la Industria 4.0 en las empresas manufactureras y cómo estas contribuyen a mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en general. Se menciona que la colaboración entre todas las partes interesadas en la cadena de valor es de gran importancia para lograr la fabricación sostenible. La selección sostenible de proveedores se destaca como un método efectivo para lograr la sostenibilidad en la cadena de suministro y aprovechar las ventajas del rendimiento proyectado. La adopción de tecnologías tiene un impacto positivo en la competitividad de las empresas, lo cual implica un cambio en la cultura organizacional y un compromiso de la alta dirección.

De acuerdo con el trabajo de *Nagorny et al (2017)*, se llevó a cabo una revisión sistemática sobre el análisis de *Big Data* en sistemas de fabricación inteligente para proporcionar una visión integral del estado actual de la investigación, innovación y desarrollo en este campo. En donde se busca identificar los desafíos actuales y futuros, así como explorar las posibles aplicaciones y oportunidades de explotación que ofrece el análisis de *Big Data* en el contexto de la fabricación inteligente. Los desafíos identificados son: gestión de la complejidad, selección de fuentes de datos útiles, condiciones en tiempo real y la consideración de estructuras, estos desafíos resaltan la complejidad y la necesidad de enfoques innovadores para abordar la gestión y el análisis de grandes volúmenes de datos generados por los sistemas de fabricación inteligente. El análisis de Big Data tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia, la toma de decisiones y la optimización en los sistemas de fabricación inteligente.

De acuerdo con el trabajo de *Blanco Ortega et al (2022)*, se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), destacando el uso de sensores inerciales para medir variables biomecánicas clave. El objetivo principal es recopilar y analizar información reciente sobre el uso de tecnología en la mejora del rendimiento. La revisión destaca la importancia de los sensores para obtener mediciones precisas en las y su impacto en la optimización del rendimiento y la prevención de posibles problemas en los procesos de manufactura. Los principales hallazgos de esta revisión sistemática son: el uso creciente de sensores inerciales para la monitorización de procesos y la medición de variables, la recopilación de datos de investigación recientes, no mayores a 20 años y la presentación de un panorama amplio sobre el uso de dispositivos con sensores para la obtención y complementación de información de los dispositivos, para mayor y mejor eficiencia.

En el trabajo de *Park & Tran (2015)*, se discute la implementación de un sistema de fabricación inteligente basado en la nube para casos de mecanizado de transmisión. El objetivo es mejorar la productividad, la calidad, el costo y la competitividad en el entorno de fabricación moderno. La integración de tecnologías como agentes cognitivos, inteligencia de enjambre y computación en la nube permite organizar y asignar recursos de mecanizado de manera eficaz, mejorando la capacidad de respuesta del sistema ante perturbaciones y evitando la necesidad de detener la producción en caso de problemas. Los resultados de este trabajo contribuyen a: la mejora de la productividad y la calidad en los procesos de fabricación, que haya una mayor capacidad de adaptación y flexibilidad, así como autonomía en la toma de decisiones. Los resultados de este trabajo muestran que la capacidad del sistema para continuar operando ante perturbaciones, como averías de máquinas o desgaste de herramientas, ha permitido reducir los tiempos de inactividad y mantener la producción en marcha de manera eficiente, mostrando así ser una solución prometedora para mejorar la eficiencia, la calidad y la adaptabilidad en los procesos de fabricación, destacando la importancia de la autonomía y la integración de tecnologías avanzadas en el entorno industrial.

De acuerdo con el trabajo de *Straathof et al (2019)*, de realizó una revisión sistemática, la cual se centra en avances tecnológicos, desafíos y oportunidades en biotecnología industrial. Las tecnologías mencionadas en este documento son: inteligencia artificial, automatización, ingeniería biológica, omic, entre otras, las cuales se utilizan para avanzar en la comprensión biológica, el diseño de microorganismos, la construcción de cepas, la optimización de procesos y la creación de productos sostenibles en el campo de la biotecnología industrial. En los resultados se menciona que la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y el modelado matemático permite optimizar los procesos biotecnológicos, reduciendo el tiempo de desarrollo y los recursos necesarios para la producción, también se dice que la automatización en la construcción de cepas microbianas, impulsada por avances en ingeniería genética y síntesis de ADN, acelera el proceso de desarrollo de cepas optimizadas para la producción industrial, es por ello que el uso de tecnologías avanzadas en biotecnología industrial está permitiendo un desarrollo más rápido, preciso y sostenible de organismos, procesos y productos para abordar los desafíos actuales en la producción industrial.

De acuerdo con el trabajo de *Guo et al (2020)*, se llevó a cabo una revisión que se centra en el análisis de la literatura existente sobre sistemas de innovación tecnológica industrial (ITI), este documento explora diferentes enfoques y teorías relacionadas con la innovación tecnológica industrial y su impacto en el desarrollo sostenible, con el objetivo de identificar los factores clave que influyen en el sistema de ITI desde una perspectiva dinámica. Estos factores desde una perspectiva dinámica incluyen: la capacidad de avance tecnológico, los recursos y ecosistema de innovación y la coordinación entre diferentes departamentos, En el sistema de ITI, participan múltiples departamentos como empresas, gobiernos e individuos, y existen complejas relaciones entre ellos. Estos factores clave influyen en la dinámica y el desarrollo del sistema de ITI, y comprender su interacción es fundamental para promover la innovación tecnológica industrial de manera sostenible.

De acuerdo con el trabajo de *Qiao et al (2021)*, se llevó a cabo una revisión sistemática para establecer un marco de sistema de producción ciber físico y realizar ajustes en la programación de producción basados en datos industriales masivos, lo que mejora la adaptabilidad y optimización en entornos de fabricación inteligente. Donde se encontró que la red de sensores se utiliza para la adquisición de datos industriales masivos y el soporte de fabricación inteligente para la programación adaptativa, *Cyber-Physical Systems (CPS)* establece un sistema de producción ciber físico para monitorear continuamente el estado de producción y proporcionar un enlace directo entre el sistema físico y el sistema cibernético y el Internet Industrial donde la transmisión de datos entre los dispositivos de campo y el IPC se realiza a través de la tecnología de Internet Industrial para el control de procesos. Esta tecnología se utiliza en conjunto de datos para mejorar la adaptabilidad y optimización en entornos de fabricación inteligente.

De acuerdo con el trabajo de *Brad & Brad (2021)* se llevó a cabo una revisión que abarca aspectos clave relacionados con la prestación de servicios avanzados por parte de empresas manufactureras, explorando las prácticas operativas y tecnologías que respaldan la servitización de la firma manufacturera. Con el objetivo de proporcionar una estructura para comprender y analizar la transición de las empresas manufactureras hacia la prestación de servicios avanzados, centrándose en las prácticas operativas y tecnologías. Los resultados de esta revisión muestran una comprensión más profunda de la transición de las empresas manufactureras hacia la prestación de servicios avanzados, así como una visión más clara de las prácticas operativas y tecnologías necesarias para respaldar la servitización de la firma manufacturera. Estos resultados contribuyen a la identificación de enfoques y herramientas que pueden ayudar a las empresas a adaptarse y prosperar en un entorno empresarial cada vez más orientado hacia la economía circular y la Industria 4.0.

En el trabajo de *Yang et al (2019)*, se llevó a cabo una revisión sistemática donde mencionan varios aspectos importantes relacionados con la implementación de internet de las cosas en la fabricación inteligente; estos aspectos son la

integración de tecnologías, la gestión de datos, la gestión de la cadena de suministro, las simulaciones y optimización, los cuales resaltan la complejidad y la importancia de la implementación de internet de las cosas en la fabricación inteligente, así como las diversas áreas en las que la tecnología puede tener un impacto significativo en la eficiencia y la mejora operativa. Esta revisión menciona que la adopción de tecnologías como internet de las cosas, análisis de *big data* y computación en la nube está transformando la forma en que se gestionan los procesos de fabricación, mejorando la eficiencia y la toma de decisiones. Además, se destacan la necesidad de nuevos enfoques analíticos para aprovechar al máximo el potencial de esta tecnología, particularmente en lo que respecta a la gestión de grandes volúmenes de datos y la optimización de los procesos. De acuerdo con los resultados de esta revisión La revisión sistemática identifica desafíos y oportunidades clave. Los desafíos incluyen la ciberseguridad, la gestión de grandes volúmenes de datos, la integración de sistemas, la adaptación a nuevas tecnologías y la complejidad del modelado y simulación. Por otro lado, las oportunidades abarcan la mejora de la eficiencia operativa, la innovación tecnológica, la optimización de procesos, la facilitación de la colaboración y comunicación, y el fortalecimiento de la competitividad empresarial. Estos desafíos y oportunidades resaltan la importancia de abordar los obstáculos existentes y aprovechar al máximo el potencial del internet de las cosas en la fabricación inteligente para impulsar la innovación y la eficiencia en la industria manufacturera.

De acuerdo con el trabajo de *Rozo-García (2020)*, se llevó a cabo una revisión sistemática se centra en analizar las tecnologías presentes en la industria 4.0. Se busca describir el impacto industrial y la evolución tecnológica que han ocasionado históricamente las revoluciones predecesoras, para luego presentar arquitecturas, estándares, características y componentes de la Industria 4.0. El impacto industrial y la evolución tecnológica se refieren a los cambios significativos que han sido históricamente ocasionados por las revoluciones industriales anteriores, y cómo estos han dado lugar a la actual era de digitalización. Estos impactos incluyen la transformación de los paradigmas de producción en las industrias, así como fenómenos económicos y sociales que han tenido un profundo

impacto en la humanidad. La evolución tecnológica ha sido impulsada por innovaciones emergentes en campos como la electrónica, la bioingeniería, los ordenadores, las telecomunicaciones, la robótica, entre otros, que han modernizado las formas de producción, promoviendo la automatización y robotización de procesos y equipos en las empresas. Entre las tecnologías clave abordadas se encuentran el Internet de las Cosas (IoT), los Sistemas ciber físicos (CPS), la computación en la nube, la ciberseguridad, la tecnología *blockchain*, el *big data*, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo. Estas tecnologías se consideran pilares fundamentales para permitir la cuarta revolución industrial, transformando la producción y las relaciones en la sociedad.

De acuerdo con el trabajo de *Kusiak (2018)*, se realizó una revisión sistemática, en la que se exploró el concepto de fabricación inteligente, destacando la importancia de la autonomía, la evolución, la simulación y la optimización de la empresa manufacturera. Fabrica inteligente se basa en los principios de los sistemas ciber físicos, el Internet de las cosas, la computación en la nube, la inteligencia artificial y la ciencia de datos. Estas tecnologías, una vez implementadas, se consideran fundamentales para impulsar la próxima revolución industrial, permitiendo una mayor eficiencia, flexibilidad y capacidad de respuesta a las demandas cambiantes del mercado. En sí, al reflejar la empresa física en el ciberespacio, se crea un entorno digital que permite una gestión más inteligente, eficiente y adaptable de los procesos de fabricación, lo que contribuye a la mejora continua y la competitividad en el mercado.

De acuerdo con el trabajo de *Zheng (2021)*, se llevó a cabo una revisión sistemática que aborda las aplicaciones de las tecnologías de la Industria 4.0 en el contexto de la fabricación. Se exploran diversas áreas de aplicación, como la optimización de procesos de fabricación, la gestión de la calidad, el mantenimiento, la logística y la gestión de la cadena de suministro. Además, se mencionan tecnologías como la Realidad Aumentada (AR) y la Realidad Mixta (MR) para mejorar la detección de defectos en los procesos de ensamblaje y la inspección de la calidad de superficies en la industria automotriz. Estas tecnologías pueden

impactar positivamente en la industria manufacturera, porque permiten la automatización y la optimización de los procesos de fabricación, la monitorización en tiempo real y el análisis de datos, las empresas pueden mejorar la calidad de sus productos y procesos, facilitan la monitorización en tiempo real y el análisis de datos, consiguen predecir y prevenir fallos en sus activos de producción, reduciendo los tiempos de inactividad y los costos asociados, así como mejorar la visibilidad, la eficiencia y la coordinación entre los diferentes actores involucrados. La implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en la industria manufacturera tiene el potencial de transformar los procesos tradicionales, aumentar la competitividad de las empresas y mejorar la experiencia del cliente a través de la innovación y la eficiencia operativa.

De acuerdo con el trabajo de *Oyekanlu et al (2020)*, se llevó a cabo una revisión sistemática sobre los avances recientes en las tecnologías de vehículos guiados automatizados (AGV) y destaca los desafíos de integración. Estas tecnologías son: algoritmos de localización, hardware, métodos de navegación basados en láser y redes de comunicación 5G como medio confiable para el intercambio de datos. Por otra parte, los desafíos identificados son: requerimientos de comunicación, integración, inadecuaciones de tecnologías existentes y la necesidad de investigación. Los resultados de esta revisión mencionan áreas de investigación, dichas áreas son: mejora en la gestión y control de flotas de AGV mediante el uso de redes 5G, desarrollo de estrategias de transferencia de información confiables, implementación de tecnologías innovadoras como la Internet táctil, el fraccionamiento de redes 5G y aplicaciones de realidad virtual, avances en la integración de AGVs y AMRs en entornos de fabricación inteligente y el desarrollo de estrategias de respaldo y redundancia para garantizar la fiabilidad y la continuidad de las operaciones de gestión de flotas de AGVs basadas en 5G. Estos resultados demuestran el impacto positivo que la investigación en estas áreas puede tener en la optimización de las operaciones de fabricación inteligente mediante la integración de tecnologías avanzadas de AGV y 5G.

En el trabajo de *Mehrpouya et al (2019)*, se realizó una revisión sistemática la cual discute el potencial de la fabricación aditiva en el contexto de la Fábrica Inteligente en la Industria 4.0. Este trabajo busca explorar las ventajas y aplicaciones de la tecnología de impresión 3D en la industria manufacturera, así como identificar cómo la fabricación aditiva puede revolucionar los métodos de producción tradicionales. Las ventajas de la impresión 3D son: personalización y flexibilidad, reducción de costos, rapidez en el desarrollo de productos, diseños complejos y sostenibilidad al reducir desperdicio de material y energía. En cuanto a la aplicación de la impresión 3D, esta se utiliza en una amplia gama de sectores de la industria manufacturera, incluyendo la fabricación de piezas aeroespaciales, automotrices, médicas, de consumo y entre otras. Se emplea para la creación de prototipos, piezas personalizadas, herramientas de fabricación, moldes, componentes complejos y una variedad de productos finales. Estas ventajas y aplicaciones demuestran el potencial transformador de la tecnología de impresión 3D en la industria manufacturera, especialmente en el contexto de la Fábrica Inteligente de la Industria 4.0. La impresión 3D emerge como un pilar fundamental en la evolución hacia la fabricación inteligente y la optimización de los procesos industriales.

De acuerdo con el trabajo de *Mittal et al (2019)*, se llevó a cabo una revisión sistemática con el objetivo de investigar las características, tecnologías y factores habilitadores que definen un sistema de fabricación como "inteligente". Un sistema de fabricación inteligente se define por su capacidad para integrar tecnologías avanzadas con el fin de optimizar procesos, mejorar la eficiencia, aumentar la flexibilidad y adaptabilidad, y permitir la toma de decisiones autónomas y en tiempo real.

En este trabajo se identifican 12 características definitorias, 11 tecnologías y ocho factores habilitadores relevantes para el ámbito de la fabricación inteligente (ver figura 1).

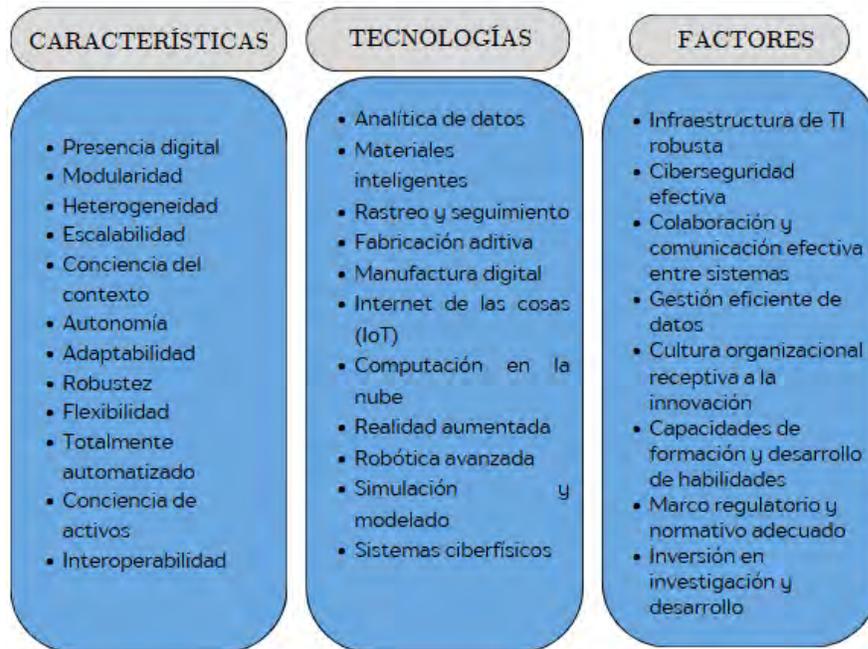


Figura 1 características, tecnologías y factores habilitadores

Según lo mencionado se espera que esta selección de elementos ayude a comparar y distinguir otras iniciativas como Industria 4.0, sistemas de producción ciber física, fábrica inteligente, fabricación inteligente e industria avanzada.

De acuerdo con el trabajo de *Serrano-Ruiz et al (2021)*, se llevó a cabo una revisión sistemática que aborda la intersección entre el proceso de programación, la tecnología habilitadora de gemelos digitales (DT), y el modelo de gestión de fabricación sin defectos (ZDM). En este trabajo se identificaron tres tendencias tecnológicas principales: (i) enfoques que se alinean con la fabricación inteligente mediante la aplicación de la tecnología DT y/o el modelo de gestión ZDM; (ii) enfoques cuya alineación con la fabricación inteligente se destaca por la aplicación de una de las principales tecnologías digitales habilitadoras; (iii) enfoques cuya alineación se deriva de proporcionar a los sistemas de programación capacidades inherentes a la fabricación inteligente. Como conclusión de este trabajo por parte de los autores se menciona que, la implementación de la tecnología de gemelos digitales y los objetivos de ZDM pueden optimizar los procesos de producción al permitir una gestión automática y autónoma en tiempo real, alineada con los principios de la fabricación inteligente. Resaltando la importancia de explorar y

comprender cómo la tecnología de gemelos digitales y el modelo de gestión ZDM pueden mejorar la eficiencia y la calidad en los procesos de programación en la fabricación inteligente, abriendo nuevas oportunidades para la investigación y la implementación en la industria

De acuerdo con el trabajo de *Bueno et al (2020)*, la revisión sistemática realizada se basa en variables ambientales vinculadas al producto, la demanda y los procesos de fabricación, estas variables son:

1. Una amplia variedad de productos y operaciones en entornos de fabricación de taller de trabajo complejo.
2. El tiempo de procesamiento del pedido.
3. Los tiempos de configuración.
4. La modularización del diseño del producto.
5. La comunalidad integrada en las decisiones de liberación de pedidos, inventario y abastecimiento.
6. La variedad escalable del producto.
7. La flexibilidad mejorada basada en la retención de inventario genérico antes del pedido del cliente.

Estas variables según el documento actúan como moderadores para la integración entre PPC e Industria 4.0, y tienen efectos en el rendimiento de fabricación e influyen en las capacidades inteligentes de PPC, como el PPC-as-a-service, y en cómo se adaptan a los requisitos del producto, la demanda y los procesos de fabricación.

De acuerdo con el trabajo de *Andronie et al (2021)*, se realizó una revisión sistemática que se centra en tecnologías sostenibles, inteligentes y de detección para sistemas de fabricación ciber física. La revisión destaca la importancia de tecnologías como la Internet de las cosas (IoT), el análisis de *big data*, la inteligencia artificial y el aprendizaje profundo en la mejora de la eficiencia y sostenibilidad en los procesos de fabricación.

Este trabajo sugiere que futuras investigaciones profundicen en la relación entre los sistemas de fabricación inteligente sostenible y la logística de producción en tiempo real basada en internet de las cosas, así como en el uso de algoritmos de toma de decisiones basados en inteligencia artificial y redes de sensores en tiempo real. Además, se señala que la implementación de la fabricación inteligente sostenible puede conducir a una gestión operativa más eficiente y sostenible, con beneficios como una imagen de producto superior, mayores ventas y perspectivas de mercado mejoradas.

De acuerdo con el trabajo de *Osterrieder et al (2020)*, se llevó a cabo una revisión sistemática que sigue un enfoque estructurado y transparente para analizar el concepto de la fábrica inteligente. Este concepto se refiere a un estado futuro de sistemas de fabricación completamente conectados que operan de manera autónoma y eficiente mediante el uso de tecnologías avanzadas.

El documento menciona que, durante la revisión, se observó que la investigación en este campo está fragmentada y desigualmente avanzada en diferentes perspectivas y se identificaron áreas de investigación futuras, como los procesos comerciales en la fábrica inteligente, el mantenimiento predictivo y la evaluación del impacto empresarial de la implementación de tecnologías de la Industria 4.0. Además, se destacó la importancia de describir detalladamente la cadena causal completa de la fábrica inteligente y evaluar su impacto monetario.

### 1.2.1 Conclusiones del estado del arte

En conclusión, el análisis del estado del arte revela un panorama prometedor en la aplicación de tecnologías inteligentes en la industria manufacturera con un enfoque sostenible. Las revisiones sistemáticas han proporcionado una visión completa y actualizada de este campo, destacando el creciente interés en tecnologías como la Internet de las Cosas (IoT), el análisis de big data, la inteligencia artificial y la computación en la nube. La fabricación aditiva, también

conocida como impresión 3D, emerge como una tecnología transformadora que ofrece ventajas significativas en personalización, reducción de costos y rápida iteración en el desarrollo de productos.

La implementación de tecnologías de la Industria 4.0, como los gemelos digitales y el modelo de gestión sin defectos, promete optimizar los procesos de producción al permitir una gestión automática y autónoma en tiempo real. La fabricación inteligente, definida por su capacidad para integrar tecnologías avanzadas y optimizar procesos, ofrece una gestión más eficiente, flexible y autónoma de los procesos de fabricación. Además, se sugieren modelos de madurez para determinar la capacidad de la empresa para adaptar nuevas tecnologías en los procesos operacionales.

Aunque la adopción de tecnologías inteligentes en la industria manufacturera tiene el potencial de transformar los procesos tradicionales, aumentar la competitividad de las empresas y mejorar la sostenibilidad a través de la innovación y la eficiencia operativa, también enfrenta desafíos significativos que requieren enfoques innovadores y colaborativos para superarlos. Es crucial seguir investigando y desarrollando soluciones que permitan aprovechar al máximo el potencial de estas tecnologías para el beneficio de la industria manufacturera y la sostenibilidad.

### 1.3 Planteamiento del problema

En la actualidad, la sociedad, la economía y la ecología son pilares importantes para considerar, ya que el buen funcionamiento de estos permite a los sectores industriales tener un impacto a nivel empresarial bastante significativo. La sociedad demanda cada vez más productos y servicios sostenibles y éticos, lo que impulsa a las industrias a adoptar prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente y la comunidad. Por otro lado, la economía globalizada exige eficiencia, innovación y adaptabilidad por parte de las empresas para mantener su

competitividad en un mercado cada vez más dinámico y exigente. Además, la ecología juega un papel fundamental en la preservación de los recursos naturales y la mitigación del impacto ambiental de las actividades industriales, lo que es crucial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. En este contexto, la aplicación de tecnologías inteligentes en los procesos de las industrias manufactureras emerge como una posible solución para abordar los desafíos actuales relacionados con la competitividad, la eficiencia y la sostenibilidad. Sin embargo, a pesar de la disponibilidad de diversas tecnologías inteligentes, se observa una falta de documentación sistemática que explique cómo se aplican estas tecnologías y cuáles son los beneficios de su uso en la industria manufacturera en el contexto de la sostenibilidad.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 General

Identificar las tecnologías inteligentes utilizadas en los procesos de las industrias manufactureras, especialmente en el contexto de la sostenibilidad, mediante la aplicación de un protocolo de investigación utilizado en las revisiones sistemáticas de *Cochrane*.

### 1.4.2 Específicos

- Definir la pregunta de investigación utilizando los criterios PICO, para identificar documentos pertinentes que aborden el tema de las tecnologías inteligentes en los procesos de las industrias manufactureras, con énfasis en la sostenibilidad.
- Realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar y seleccionar artículos relevantes que aborden el uso de tecnologías

inteligentes en los procesos de fabricación, especialmente aquellos que aborden aspectos relacionados con la sostenibilidad.

- Analizar los documentos seleccionados para extraer información detallada sobre las tecnologías inteligentes aplicadas en los procesos de manufactura y su impacto en la sostenibilidad, incluyendo aspectos como eficiencia energética, reducción de residuos y optimización de recursos.
- Sintetizar los hallazgos de la revisión sistemática para proporcionar una visión general y actualizada sobre el estado del arte en el uso de tecnologías inteligentes en las industrias manufactureras, destacando las tendencias y los beneficios en el campo.

## 1.5 Alcances

- La recolección de artículos relevantes sobre tecnologías inteligentes aplicadas a la manufactura. Esta recolección se fundamenta en la necesidad de acceder a información actualizada y de calidad que aborde específicamente la integración de tecnologías inteligentes en los procesos industriales con un enfoque en la sostenibilidad.
- La aplicación de una metodología *Cochrane*, para el análisis de la evidencia existente sobre la aplicación de las tecnologías inteligentes, en la manufactura sostenible.
- La identificación de las tecnologías que aportan en la gestión de residuos, eficiencia energética, y procesos de producción con un enfoque sostenible.

## 1.6 Justificación

La sostenibilidad se define como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social” (*Informe-Comisión-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo*). Por lo tanto, es necesario que las empresas de la industria manufacturera lleven a cabo prácticas sostenibles en los procesos de producción buscando un impacto favorable con el medio ambiente, esto mediante la reducción en la generación de residuos, la mejora de la eficiencia energética, la reducción de emisiones de carbono, entre otras. Dentro de los recursos personales y profesionales de la empresa se busca una sostenibilidad social la cual tiene como objetivo preservar los derechos humanos de los colaboradores evitando la discriminación, las prácticas de esclavitud y/o abuso infantil (*Pacto-Mundial*). Finalmente, en el aspecto económico, las empresas buscan un crecimiento sostenible y rentable a largo plazo. La implementación de prácticas sostenibles puede resultar en ahorros significativos a través de la reducción de costos operativos, el aumento de la eficiencia y la optimización de recursos. Además, una imagen corporativa positiva asociada con la responsabilidad social y ambiental puede aumentar la lealtad de los clientes y abrir nuevas oportunidades de negocio.

Con base en lo anterior, es necesario saber el impacto que ha tenido la innovación tecnológica en la sostenibilidad dentro de la industria manufacturera, esta innovación actual son las tecnologías inteligentes de la industria 4.0, por lo cual desarrollar una revisión sistemática va a permitir identificar la correlación y el impacto de las tecnologías inteligentes, como son internet de las cosas, manufactura aditiva, gemelos digitales, entre otras. Llevar a cabo un proceso ordenado de investigación permite tener mejor organización, contribución significativa al conocimiento, el desarrollo de habilidades de búsqueda, análisis crítico y síntesis de información, así como tener oportunidades de colaboración y finalmente puede contribuir al objetivo más amplio de promover prácticas empresariales responsables y mitigar los impactos negativos en el medio ambiente.

## 1.7 Estructura de la tesis

El presente documento se encuentra dividido de la siguiente manera: el capítulo 2 muestra el marco conceptual del tema. El capítulo 3 presenta el desarrollo de la Revisión Sistemática, donde se despliegan los pasos del protocolo de investigación. El capítulo 4 muestra los resultados obtenidos de la revisión sistemática. El capítulo 5 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## Capítulo 2.

# Marco conceptual

---

## 2.1 Revisión sistemática

Los métodos no sólo deben ser explícitos sino también sistemáticos con el propósito de producir resultados variados y confiables. La evaluación crítica y la síntesis sistemática de hallazgos de la investigación emergieron en las prácticas de investigación realizadas por el físico, *Karl Pearson* que en 1904 llevó a cabo este tipo de investigación, pero no dio un término en sí, es por lo que, al pasar el tiempo, en 1972 bajo el término “metaanálisis” el cual lo acuñó el estadístico *GV Glass*, que condujo síntesis en diversas áreas de la psicoterapia y tamaño de las clases llevando a cabo este tipo de investigación. Para 1975 el epidemiólogo *Archie Cochrane* instó a los profesionales de la salud a practicar la medicina bajo la evidencia, ya que tener el control de la información existente permite la toma de decisiones, es aquí la necesidad de realizar una revisión sistemática, donde los proveedores, los usuarios, pacientes, los investigadores y todas aquellas personas que elaboran políticas sanitarias se enfrentan a cantidades inmanejables de información relativa de evidencia en investigación sanitaria. Es poco probable que todos dispongan del tiempo, las habilidades y los recursos para identificar, evaluar e interpretar esta evidencia e incorporarla a las decisiones sanitarias. Las revisiones *Cochrane* responden a este reto identificando, evaluando y sintetizando la evidencia basada en la investigación y presentándola en un formato accesible (*Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011*).

La revisión sistemática es la evaluación ordenada y explícita de la literatura a partir de una pregunta clara de investigación, junto a un análisis crítico de acuerdo con diferentes herramientas y un resumen cualitativo de la evidencia. Las revisiones sistemáticas deben cubrir los siguientes aspectos: tener una pregunta de investigación clara y basada en la estrategia PICO, una estrategia de búsqueda clara y reproducible, la selección apropiada de los estudios junto a la extracción de sus datos, la evaluación de la calidad de la evidencia con alguna de las diferentes herramientas y, si existen datos robustos y homogéneos, se podrá realizar un

metaanálisis. El metaanálisis consiste en la aplicación de métodos estadísticos para resumir los resultados de estudios independientes (*Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011*). Las revisiones sistemáticas (RS), reúnen de una manera metódica toda la evidencia disponible con unos criterios de elegibilidad establecidos, con el objetivo claro de responder a una pregunta específica; sus métodos son explícitos, de tal manera que se minimizan los sesgos (*Ferreira González et al., 2011*).

### 2.1.1 Criterios generales de una Revisión

De acuerdo con los “Métodos generales para las revisiones *Cochrane*” existen criterios generales para el desarrollo de una revisión sistemática, los cuales se enlistan a continuación (*Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011*):

1. Formular pregunta PICO. Especificar los tipos de **P**oblación, los tipos de **I**ntervenciones, las **C**omparaciones y los tipos de **O**utcome que son de interés.
2. Planificar criterios de elegibilidad. Los criterios de elegibilidad son una combinación de los aspectos de la pregunta, además de la especificación de los tipos de diseño de estudio.
3. Planificar la metodología. Considerar desde el principio qué diseños de estudio pueden aportar datos fiables con los cuales se orientarán los objetivos de la revisión.
4. Buscar artículos. Se requiere una búsqueda amplia, objetiva y reproducible de una gama de fuentes, para identificar tantos estudios relacionados como sea posible (dentro del límite de los recursos).
5. Seleccionar de los estudios y obtención de datos. Vincular múltiples informes de un mismo estudio; y el otro es utilizar la información disponible de los diferentes informes para determinar qué estudios son elegibles para su inclusión.

6. Evaluar el riesgo y sesgo de los artículos. La evaluación de la validez de los estudios incluidos es un componente fundamental de una revisión y que influye en el análisis y la interpretación.

7. Mostrar los resultados. Con la información seleccionada, analizada e interpretada, generar el escrito con dichos resultados y conclusiones.

## 2.1.2 Tipos de revisiones sistemáticas

Existen diferentes tipos de revisiones para llevar a cabo una investigación, en la tabla 1 se describe cada una.

*Tabla 1 Tipos de revisiones*

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Narrativa</b>	Revisa la literatura publicada, y ello implica que los materiales incluidos poseen cierto grado de permanencia. Ocasionalmente este proceso puede haber sido realizado por pares (dos autores de forma independiente realizan la revisión, y después ponen en común sus conclusiones, realizando un proceso de contrastación), aunque no siempre es una condición imprescindible.
<b>Integradora</b>	Tiene como objetivo demostrar que el autor ha investigado ampliamente la literatura y evaluado críticamente su calidad. Va más allá de la mera descripción de los artículos identificados e incluye un grado de análisis e innovación conceptual.
<b>Panorámica</b>	Tienen por objeto identificar rápidamente los conceptos clave que sustentan un área de investigación y las principales fuentes y tipos de evidencias disponibles, y pueden llevarse a cabo como proyectos aislados por propio derecho, especialmente cuando un área de conocimiento compleja o no se ha revisado exhaustivamente antes.
<b>Análisis conceptual</b>	Es un método por el cual los conceptos que son de interés para una disciplina se examinan con el fin de aclarar sus características y conseguir una mejor comprensión del significado de ese concepto.
<b>Sistemática</b>	Lleva a cabo una metodología explícita y precisa, y además se sigue un protocolo claramente delineado, estandarizado y replicable que asegura la calidad, consistencia y transparencia del proceso de revisión. También incluye el proceso de decisión que determina qué artículos son elegibles para su inclusión en el estudio.
<b>Sistematizada</b>	El proceso de revisión sistematizada permite al autor demostrar el conocimiento de todo el proceso y la competencia técnica en las etapas que lo componen.
<b>De revisiones</b>	Pueden ser utilizadas para evaluar las similitudes y diferencias en las revisiones publicadas, para resumir lo que se sabe sobre un tema y normalmente implican un amplio número de diferentes tipos de revisiones.
<b>Realista</b>	Este tipo de revisiones proporciona un análisis explicativo dirigido a discernir lo que funciona, en quién, en qué circunstancias, y en qué aspectos y cómo funciona

Fuente. (Guirao Goris, 2015)

Este trabajo se enfoca en una revisión sistemática en donde se utiliza el protocolo establecido por el epidemiólogo *Archie Cochrane*, el cual tiene un formato

estándar donde se obtiene el conocimiento previo de los resultados de un estudio potencialmente elegible sabiendo que es importante que los métodos para tal tema que se van a utilizar sean establecidos y documentados previamente.

Beneficios de utilizar el formato de una revisión *Cochrane*:

- Ayuda a los lectores a encontrar rápidamente los resultados de la investigación y a evaluar la validez, la aplicabilidad y las implicaciones de esos resultados.
- Guía a los autores de la revisión a informar sobre su trabajo de forma explícita y concisa, y minimizar el esfuerzo requerido para hacerlo.
- Facilita la publicación electrónica y el mantenimiento de las revisiones
- Posibilita el desarrollo de productos derivados (Revisiones globales u *overview*) de revisiones y estudios empíricos basados en múltiples revisiones sistemáticas.
- Ayuda a tomar decisiones bien fundamentadas preparando, manteniendo y promocionando el acceso a las revisiones sistemáticas basadas en la recopilación de datos importantes, donde también aporta una síntesis fiable y eficaz de dicha averiguación disponible sobre un tema determinado (*Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011*).

Las revisiones sistemáticas, han tenido un crecimiento exponencial en las últimas décadas, dado que son un apoyo fundamental para la toma de decisiones tanto en el área clínica como en otras áreas; permiten de una manera sencilla y metódica solucionar problemas que se dan en el quehacer diario. (*García-Perdomo, 2015*).

## 2.2 Tecnologías inteligentes

Las tecnologías inteligentes se llaman así porque utilizan Internet y altos niveles de automatización para rendir de manera eficaz y efectiva, y a menudo utilizan las experiencias y ajustes previos para tomar decisiones automatizadas.

Los sistemas inteligentes comienzan su historia oficial luego de la segunda guerra mundial, como producto de la reubicación de la mano de obra científica en el ámbito privado. El desarrollo del conocimiento que había sido estratégico cambia de rumbo hacia una producción industrial. Nacen así las tecnologías inteligentes. Este florecer de las Tecnologías Inteligentes (TIs) da origen a una vasta cantidad de áreas, diversificándolas y colocándolas es una posición estratégica para el desarrollo de la humanidad. Entre otras, se han destacado la Minería de Datos, el Análisis de tendencias y la causalidad para la predicción de sus consecuencias y el tratamiento inteligente de grandes volúmenes de datos, conocidos como *Big Data*. La lista es larga y crece constantemente. Todo este cambio ha llevado a la tecnología a diseñar un futuro conocido como Industria 4.0, donde el hombre, la sociedad y la naturaleza estarán entrelazados y sostenidos por dos grandes ejes: las comunicaciones y los sistemas inteligentes.

Las tecnologías inteligentes son aquellas que, mediante procesos automatizados estudian y toman decisiones a partir de datos recopilados, teniendo como objetivo final que estas consigan realizar los procesos por la vía más eficaz y eficiente. Este término se centra esencialmente en otorgar cantidad indeterminada de datos a un dispositivo específico para obtener una programación lógica que va a responder de manera razonada bajo una inducción sobre sus sensores. Las tecnologías inteligentes (TIs) facilitan el desarrollo de sistemas y soluciones, como productos o servicios, con una mayor autonomía, adaptación a su entorno y/o efectividad (eficiencia y eficacia) en la resolución de problemas. Estas tecnologías permite abordar tareas complejas que requieren no solo habilidades manuales (sistemáticas) sino también cognitivas (no sistemáticas), por ejemplo, la traducción

automática de idiomas o los asistentes virtuales (Senen Barro, Rouhiainen Lasse, 2020).

Actualmente, existen muchas tecnologías modernas e innovadoras que impulsan la transformación digital (CL Tigabytes, 2023). La figura 2, muestra algunos ejemplos de su uso:



Figura 2 Ejemplos de tecnologías inteligentes

La tecnología seguirá modificando la estructura social, cultural y económica de las naciones y de la comunidad mundial. Si se les controla minuciosamente, las nuevas tecnologías que surgen ofrecen enormes oportunidades de aumentar la productividad y el nivel de vida, mejorar la salud y conservar la base de recursos naturales. Muchas entrañarán también nuevos riesgos y requerirán una capacidad mejorada de evaluarlos y controlarlos.

## 2.3 Industria

La industria es la actividad que tiene como finalidad de transformar las materias primas en productos elaborados o semielaborados utilizando una fuente

de energía. Además de materiales, para su desarrollo la industria necesita maquinaria y recursos humanos organizados habitualmente en empresas por su especialización laboral. Existen diferentes clases de industrias en virtud del propósito ético fundacional de su actividad (ecológicas: fundamentos ecologistas) y tipos que la demarcan en ámbitos sectoriales según sean los productos que fabrican. Por ejemplo, la industria alimentaria se dedica a la elaboración de productos destinados a la alimentación, como el queso, los embutidos, las conservas, etc. Desde el origen del ser humano, este ha tenido la necesidad de transformar los elementos de la naturaleza para poder aprovecharse de ellos.

Desde el comienzo de la industrialización, los saltos tecnológicos han llevado a cambios de paradigma que hoy son llamadas “revoluciones industriales”. Las revoluciones industriales (ver tabla 2), siempre han estado marcadas por características relacionadas con tecnologías emergentes innovadoras que modifican sustancialmente y a gran velocidad los paradigmas de las formas de producción en las industrias, desencadenando a su vez fenómenos económicos y sociales que transforman profunda y sustancialmente a la humanidad (*Seguí & Peiró*).

*Tabla 2 Revoluciones industriales*

<b>Primera revolución industrial</b>	Aparición de la máquina de vapor que impulso el desarrollo del transporte y de la industria textil.
<b>Segunda Revolución Industrial</b>	La expansión de las industrias de acero y petróleo, así como el uso de electricidad, facilitando el aumento de la productividad.
<b>Tercera Revolución Industrial</b>	Control de dispositivos mecánicos a través de la electrónica digital y las telecomunicaciones en la era del silicio.
<b>Cuarta Revolución Industrial</b>	Es denominada por algunos autores como la era de la digitalización o Industria 4.0. fusiona los sistemas físicos, los sistemas digitales y los sistemas biológicos, para generar una red de producción inteligente donde los distintos componentes interaccionan y colaboran entre sí, lo cual modifica trascendentalmente la forma en que vemos y nos interrelacionamos con el mundo.

Elaboración propia

La industria es un tanto vulnerable a los impactos de los cambios, ya sea, natural, económico y social. Considerando que por ello las revoluciones mencionadas anteriormente se han venido actualizando y por su puesto mejorando, ya que con el paso del tiempo la sociedad, la economía y el ambiente han cambiado

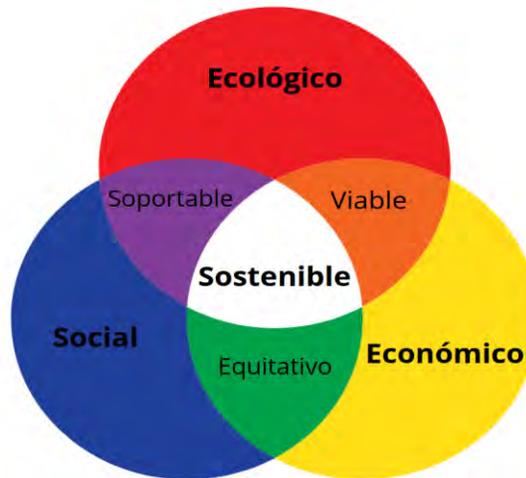
de manera rápida, siendo un punto importante para que las industrias se adapten a ese entorno sin perder sus recursos más importantes.

## 2.4 Sostenibilidad

Es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. La satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas es el principal objetivo del desarrollo. El desarrollo requiere la satisfacción de las necesidades básicas de todos y extiende a todos la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor.

Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero. El concepto de desarrollo implica límites no límites absolutos, sino limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social, la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de las actividades humanas. Pero tanto la tecnología como la organización social pueden ser ordenadas y mejoradas de manera que abran el camino a una nueva era de crecimiento económico (*Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo*).

El Desarrollo Sostenible propone tres pilares fundamentales: lo económico, lo social y lo ambiental (*Los pilares del desarrollo sostenible*, 2013), al unir los tres pilares tenemos como resultado las dimensiones de sostenibilidad, lo equitativo, lo soportable y lo viable (ver Figura 3).



*Figura 3 Pilares de la sostenibilidad*

### 2.4.1 Lo económico

La dimensión económica del Desarrollo Sostenible se centra en mantener el proceso del desarrollo económico por vías óptimas hacia la maximización del bienestar humano, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por la disponibilidad del capital natural. La expansión económica genera una riqueza que ha de compatibilizarse con lo social y lo ambiental. Se han de evitar los daños ecológicos y el agotamiento de los recursos. Se han de utilizar la innovación y tecnologías eficientes y limpias. El objeto de la economía es estudiar la correcta distribución de los recursos escasos para satisfacer las necesidades del ser humano.

### 2.4.2 Lo social

Toda sociedad puede ser entendida como una cadena de conocimientos entre varios ámbitos, económico, político, cultural, deportivo y de entretenimiento. Una aproximación mucho más elaborada de lo que se entiende por lo social en términos de lo que es el Desarrollo Sostenible. La población tiene que entender y

sentirse motivada para buscar modelos sostenibles en sus propios lugares y con sus propios medios. Para ello, se precisa unas condiciones de vida dignas y un adecuado acceso a la cultura.

### 2.4.3 Lo ecológico

Esta dimensión se da de la premisa de que el futuro del desarrollo depende de la capacidad que tengan los actores como las instituciones y los diversos agentes económicos para conocer y manejar, según una perspectiva de largo plazo, todo lo que está enmarcado con los recursos naturales renovables y no renovables. Lo ambiental tiene que ser de alta prioridad para los gobiernos y para la sociedad en general. Los sistemas naturales necesitan protección, sin su existencia se rompería la cadena de la vida.

Las sociedades actuales se preocupan cada día más por los problemas ambientales lo que las ha llevado a buscar métodos de producción y consumo que generen poco desperdicio; método enfocado a la prevención de éstos y a la generación de menos basura, en lugar de producirla en grandes volúmenes y luego tratar de eliminarla. Es indispensable la utilización de las tres R's como proceso para lograr la conservación de los recursos y el ecosistema: reciclaje, reuso y reducción de basuras mediante su no producción (*Los pilares del desarrollo sostenible*, 2013).

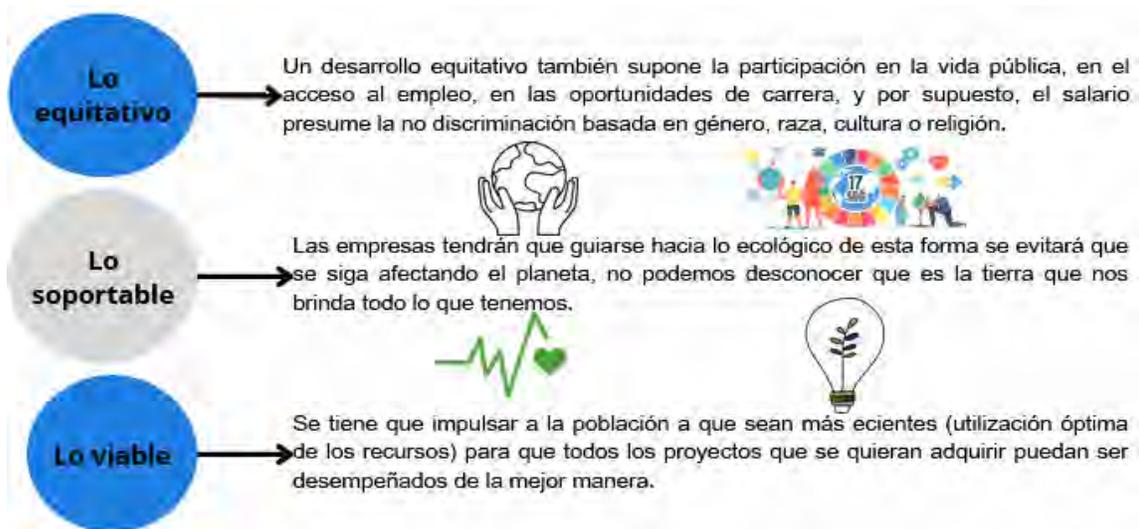


Figura 4 Lo equitativo, lo soportable y lo viable de la sostenibilidad

## Capítulo 3.

# Revisión sistemática

---

En este capítulo se muestran cada una de las fases de la metodología para la revisión sistemática *Cochrane* sobre el uso de las tecnologías inteligentes enfocadas en los procesos de las industrias manufactureras sostenibles.

La presente metodología consta de 3 fases; fase 1; desarrollo de la pregunta de investigación, fase 2: adquisición de la evidencia y fase 3: síntesis de la evidencia bibliográfica (ver Figura 5 ).

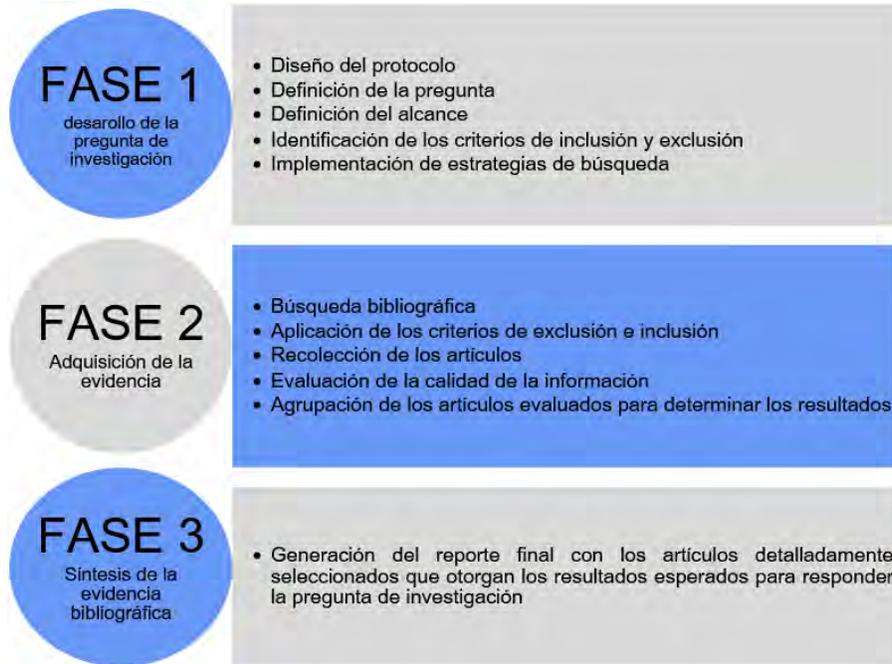


Figura 5 Metodología Cochrane

## 3.1 Fase 1. Desarrollo de la pregunta de investigación

### 3.1.1 Diseño del protocolo

La presente investigación utilizó como método la revisión sistemática *Cochrane*, esta tiene como objetivo reunir toda la evidencia empírica que cumple unos criterios de elegibilidad previamente establecidos, con el fin de responder una pregunta específica de investigación, en la que se utilizan métodos sistemáticos y explícitos, que se eligen con el fin de minimizar sesgos, aportando así resultados

más fiables a partir de los cuales se puedan extraer conclusiones y tomar decisiones (Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011)

Para esto se establecieron las palabras clave que guiaron la búsqueda de la información con sinónimos y acrónimos, con base en los conceptos utilizados para documentación y publicación disponible en las bibliotecas digitales. Para esta revisión se concluyeron las palabras clave indicadas en la tabla 3.

Tabla 3 Palabras clave

<b>PALABRAS</b>	<b>SINÓNIMOS</b>	<b>ACRÓNIMOS</b>
<b>Tecnologías inteligentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inteligencia artificial</li> <li>▪ Internet de las cosas</li> <li>▪ Sistemas de mantenimiento inteligente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IA</li> <li>▪ IoT</li> <li>▪ IMS</li> </ul>
<b>Industria 4.0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fabricación inteligente</li> <li>▪ Producción inteligente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SM</li> <li>▪ SP</li> </ul>
<b>Sostenibilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sustentabilidad</li> <li>▪ Desarrollo sostenible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ODS</li> </ul>

Elaboración propia

Estas palabras clave son cruciales para garantizar la exhaustividad y relevancia de los resultados obtenidos.

### 3.1.2 Definición de la pregunta

Una revisión bien estructurada y enfocada comienza con una pregunta claramente definida. En las revisiones *Cochrane*, estas preguntas suelen ser presentadas de manera amplia como los objetivos de la revisión, para luego ser detalladas en la sección de criterios para considerar estudios para esta revisión. La pregunta de la revisión debe precisar los tipos de población (los participantes), los tipos de intervenciones (y comparaciones), y los tipos de resultados que son de interés. La sigla **PICO** (por sus iniciales en inglés) sirve como un recordatorio de pregunta específica. Estos elementos de la pregunta, junto con la especificación del tipo de diseño de estudio que será incluido, constituyen la base de los criterios de

elegibilidad predefinidos para la revisión. Por lo tanto, la pregunta de esta revisión sistemática se definió con los aspectos **PICO**, donde:

**P**= población

**I**= intervención

**C**= comparación

**O**= *outcomes*.

Los aspectos de la pregunta de investigación de esta revisión sistemática son; Población: industrias de fabricación, Intervención: tecnologías inteligentes, Comparación: tecnologías convencionales y *Outcome* el uso de estas tecnologías inteligentes identificadas. Los criterios PICO para la pregunta de investigación se cumplen con esto. Consecuentemente, la pregunta de investigación se formula de la siguiente manera: **¿Qué tecnologías inteligentes se han empleado para mejorar la sostenibilidad en las industrias manufactureras?**

### 3.1.3 Definición del alcance

Determinar el alcance de la pregunta para la revisión es una decisión que depende de múltiples factores, como la perspectiva relacionada con la relevancia de la pregunta y su potencial de impacto; información de apoyo teórico, y de los recursos disponibles. En este caso el alcance se basa en tres factores:

- 1) El enfoque: industrias manufactureras, el tema va enfocado a esto, para conocer cómo llevan a cabo sus procesos y qué tecnologías utilizan.
- 2) Apoyo teórico: las bibliotecas digitales van a permitir encontrar la información adecuada para incluir en la revisión.

En esta revisión de eligieron tres bibliotecas digitales: *IEEE Xplore*, *Springer Link* y *Science Direct*.

- 3) El recurso: la disponibilidad de tiempo y el compromiso para el desarrollo de la revisión es muy importante, ya que así se puede garantizar in éxito en la finalización de esta.

La cantidad de tiempo requerido puede variar de acuerdo con el tema, el número de estudios, los métodos utilizados, la experiencia de los autores, y los tipos de apoyo aportados por el equipo editorial.

### 3.1.4 Identificación de los criterios de elegibilidad

Antes de iniciar la búsqueda de información, se establecieron criterios de elegibilidad, tanto de inclusión como de exclusión. Esta parte es fundamental, ya que define los límites de la búsqueda y proporciona una guía clara para la revisión sistemática. Al definir los criterios de elegibilidad, se determinó qué tipo de estudios o publicaciones serán considerados para su inclusión en la revisión, así como aquellos que serán excluidos.

#### A. Criterios de inclusión:

- Artículos académicos de revistas y congresos, con acceso de texto completo publicados entre 2014-2024 en idioma español e inglés
- Estudios de tipo cualitativo o cuantitativo con acceso al texto completo
- Artículos que contengan más de 40 referencias
- Documentación que contenga número de citas, lo que sugiere un mayor impacto y reconocimiento dentro de la comunidad científica
- Artículos que hagan referencia al uso de las tecnologías inteligentes en la industria manufacturera

#### B. Criterios de exclusión

- Artículos académicos que no puedan ser de acceso al texto completo
- Material de otras fuentes como, tesis, libros o artículos no publicados en ninguna fuente
- Artículos que no hagan referencia al uso de las tecnologías inteligentes en la industria manufacturera

- Documentos sin citas
- Artículos con menos de 40 referencias

### 3.1.5 Implementación de estrategias de búsqueda

La estructura de una estrategia de búsqueda se basó en los principales conceptos que se analizan en una revisión. Es por ello por lo que se optó a hacer pruebas en la formulación de la cadena de búsqueda para conocer las áreas que manejan las bibliotecas digitales y los operadores booleanos de cada una de ellas.

Por ejemplo, de acuerdo con el tema de esta revisión se detectaron algunas áreas de utilidad en *Springer link*, estas áreas son: ingeniería, negocios y administración, ciencias de la computación, ambiente y ciencias económicas. Por otro lado, *IEEE Xplore* abarca: informática de ingeniería de producción, internet de las cosas, aprendizaje (inteligencia artificial), computación en la nube y sistemas de fabricación. Finalmente, *Science direct* tiene títulos de publicación en la revista de producción más limpia, revista de sistemas de fabricación y revista de gestión ambiental.

Haber identificado esta información permitió tener el conocimiento de las áreas, revistas y temas de publicación que hay en las diversas bases de datos y cómo es qué se maneja en cada una de ellas, esta actividad se realizó como exploración de las bases de datos, con las palabras clave que se consideraron.

Cabe mencionar que de acuerdo con el *Centro Cochrane Iberoamericano traductores (2011)* los operadores Booleanos (**AND, OR, NOT**), sirven para construir los términos de vocabulario controlado, las palabras de texto, los sinónimos y los términos relacionados para cada concepto de una vez, juntando cada uno de los términos dentro de cada concepto con el operador Booleano.

- El operador **AND** se utiliza para encontrar documentos que contienen todas las palabras clave especificadas.

- El operador **OR** se emplea para ampliar los resultados de la búsqueda, recuperando documentos que contienen al menos una de las palabras clave.
- El operador **NOT** se utiliza para excluir términos específicos de los resultados de búsqueda.

Estos operadores booleanos proporcionan flexibilidad y precisión en la búsqueda de información, lo que resulta crucial para llevar a cabo revisiones sistemáticas exhaustivas y efectivas

## 3.2 Fase 2. Adquisición de la evidencia

### 3.2.1 Búsqueda bibliográfica

Una vez establecido el procedimiento de investigación para recolectar la evidencia disponible en las bibliotecas digitales, se procede a iniciar la investigación exhaustiva con la cadena de búsqueda. Esta cadena de búsqueda se adaptó a las particularidades y requisitos específicos de cada base de datos utilizada, incluyendo elementos como comillas, paréntesis, operadores booleanos, y otros criterios necesarios para obtener resultados relevantes (ver Figura 6).

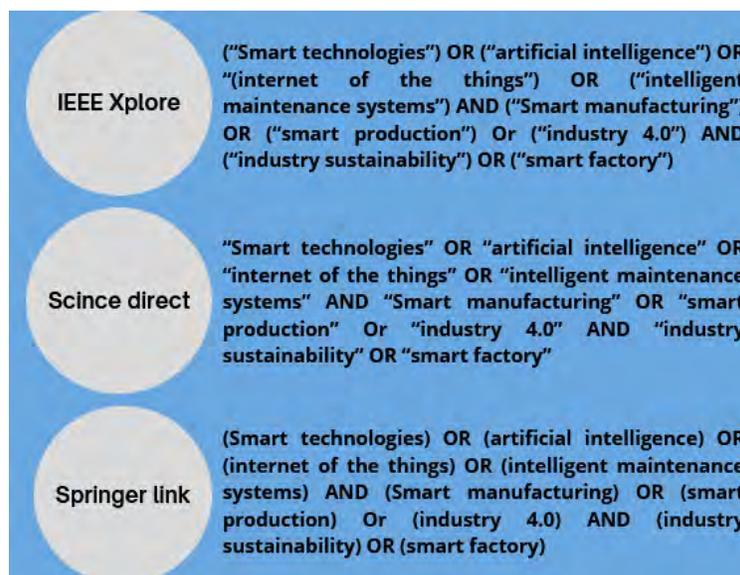


Figura 6 Cadena de búsqueda

El diseño de la cadena de búsqueda se realizó de manera cuidadosa y estratégica, asegurando que abarcara todos los aspectos clave del tema de investigación, maximizando la probabilidad de encontrar la información relevante en las bases de datos seleccionadas. Las bases de datos seleccionadas para esta investigación se determinaron a partir de las estrategias de búsqueda, donde cada una (*IEEE, Elsevier y Springer*), tiene información de las tecnologías, las industrias manufactureras y la sostenibilidad en conjunto. Esto permite tener acceso a la información necesaria y poder extraerla para el análisis. Es importante destacar que la información es un recurso sumamente valioso para la investigación, ya que constituye el fundamento sobre el cual se construye el conocimiento y se desarrolla el análisis.

Es importante destacar que, para asegurar una recopilación de información más precisa y cumplir con los estándares de las bases de datos, se optó por realizar la búsqueda utilizando el idioma inglés.

### 3.2.2 Aplicación de los criterios de inclusión y exclusión

En el marco de filtración en las editoriales (*IEEE, Elsevier y Springer*), se implementaron criterios específicos para la inclusión y exclusión de estudios. Estos criterios son:

1. Artículos no publicados en revistas científicas o presentados en congresos los cuales fueron excluidos
2. Los artículos publicados en revistas y congresos se le consideró para la revisión
3. Los artículos que carecían de citas fueron excluidos, lo que indica un nivel mínimo de impacto y relevancia en la literatura académica. Asimismo, se incluyeron los que cuentan con citas.
4. Se excluyeron los estudios que tenían un número de referencias bibliográficas menor a 40 y se incluyeron los que tenían más de 40 referencias.

5. Por último, se excluyeron los que no estaban en un periodo de 2014 a 2024 y por ende se incluyeron los que estaban en ese periodo, asegurando que los trabajos seleccionados contaran con una base sólida de investigaciones previas en su contexto.

Con la recopilación de los artículos se obtuvieron 273,391 en la búsqueda general en las editoriales (*IEEE, Elsevier y Springer*), efectuando los criterios específicos para la inclusión y exclusión mencionados anteriormente de estudios que cumplieran o no con los requisitos que se implementaron. Los artículos preseleccionados (5,814) fueron aquellos que estuvieran coherentes en el título de acuerdo con las palabras clave definidas y los criterios de elegibilidad.

### 3.2.3 Recolección de los artículos

En este punto del proceso de la revisión se utilizó un gestor de referencias llamado Zotero. Es un software que especialmente está diseñado para el manejo bibliográfico o de referencias, es útil y relativamente fácil de usar para llevar la cuenta de las referencias de la bibliografía. Zotero facilita la recopilación, organización y citación de referencias bibliográficas, y es conocido por su extensión para navegadores web que permite guardar fácilmente citas y documentos en línea. Este gestor proporciona un sistema ordenado que facilita la recopilación, organización y citación de referencias bibliográficas. Además, se llevó a cabo una primera depuración de duplicados en esta herramienta, lo que resultó en la expulsión de 571 artículos duplicados.

### 3.2.4 Evaluación de la calidad de la información

La evaluación de la calidad de la información en una revisión *Cochrane* es fundamental para que al tomar decisiones se pueda confiar en las recomendaciones basadas en la evidencia (*Centro Cochrane Iberoamericano traductores, 2011*). Para

analizar la calidad de la información se utilizó la aplicación web y móvil *Rayyan*, la cual es una plataforma con herramientas para el desarrollo de revisiones sistemáticas, permitiendo agilizar el proceso de la evaluación de la calidad de la información. Es un proceso riguroso que se realiza de manera transparente y sistemática.

A continuación, se menciona la sistematización del proceso de selección y análisis de la información:

1. Se realizó una primera revisión de los documentos, la cual consta en el análisis de similitud en donde por medio *Rayyan* se eliminaron artículos con un 80% de similitud.
2. La segunda revisión fue por medio del análisis de títulos y resúmenes. Este análisis es fundamental para garantizar que se seleccionen los estudios más relevantes y de mayor calidad para la revisión sistemática. Este proceso se realiza de manera rigurosa y transparente, siguiendo los lineamientos establecidos por *Cochrane*: relevancia del tema, objetivos del estudio, población o muestra, resultados principales y la calidad del documento (*Centro Cochrane Iberoamericano traductores 2011*)
3. Por último, se llevó a cabo una tercera revisión de los documentos restantes, haciendo la lectura completa para ir descartando los que no se consideran proyectan información relacionada a la investigación, y así poder obtener los artículos resultantes para esta revisión.

De cada artículo se extrajo el año, los autores, el título, el proceso de manufactura, en enfoque sostenible, la tecnología utilizada y el impacto sostenible.

### 3.2.5 Agrupación de los artículos evaluados para determinar los resultados

En este paso de la revisión, los artículos evaluados se agrupan en función de temas, características o resultados similares. Esto permite una comprensión más profunda de los datos recopilados y facilita la identificación de tendencias o patrones emergentes en la literatura revisada.

La agrupación de los artículos también puede ayudar a destacar las áreas de acuerdo y desacuerdo entre los estudios, así como a resaltar posibles brechas en la investigación.

Además, este proceso puede incluir la aplicación de técnicas de síntesis cualitativa o cuantitativa para integrar la información de manera coherente y proporcionar una visión general más completa de los resultados de los estudios incluidos en la revisión facilitando la extracción de conclusiones y la generación de resultados.

## Capítulo 4.

# Resultados

---

## 4.1 Fase 3. Resultados

### 4.1.1 Descripción de los resultados obtenidos

Al concluir esta revisión, se lograron identificar un total de 103 documentos, de los cuales cuatro son artículos de conferencia y 99 son artículos de revistas académicas. Estos documentos fueron seleccionados de acuerdo con los criterios de elegibilidad establecidos y fueron evaluados en cuanto a la calidad de la información proporcionada. Permitieron satisfactoriamente abordar la pregunta de investigación relacionada con las tecnologías inteligentes. El proceso llevado a cabo para obtener estos resultados se ilustra en la figura 7.

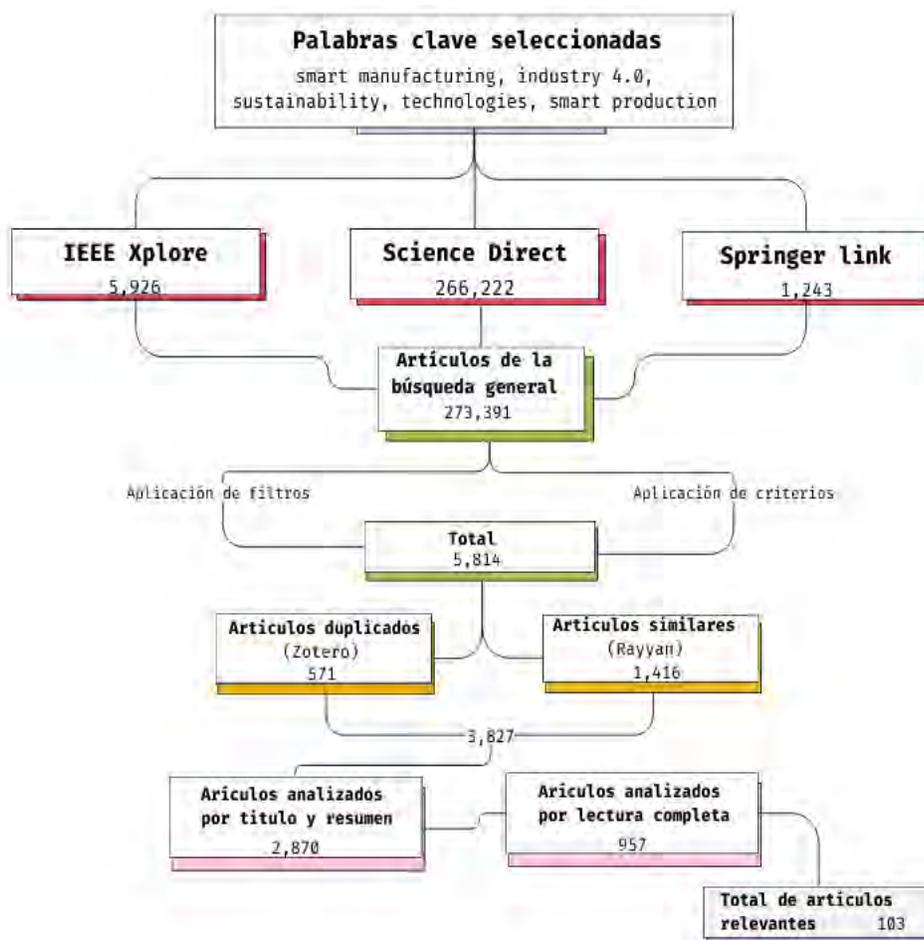


Figura 7 Proceso para obtener los resultados

Los 103 artículos obtenidos en esta revisión se muestran en la tabla 5, que se encuentra en el **Anexo 1**. Dicha tabla presenta de manera cronológica los artículos incluidos en la investigación, permitiendo así examinar el periodo de tiempo en el cual este tema ha sido objeto de estudio y análisis.

Principalmente los resultados de esta investigación se clasificaron por año (ver tabla 4).

Tabla 4 Agrupación por año

Año	Título
2015	3
2016	7
2017	12
2018	5
2019	6
2020	15
2021	22
2022	17
2023	16

Esta distribución indica que en la investigación sobre el uso de tecnologías inteligentes en los procesos de las industrias manufactureras para mejorar la sostenibilidad tiene un número representativo de investigaciones en el año 2021, tal como se muestra en la figura 8.



Figura 8 Publicación por año

Se observa que, durante el periodo de 2015-2019, se registra un número relativamente bajo de publicaciones, con un aumento notable en el año 2021. Este incremento sugiere un pico de actividad investigativa, posiblemente influenciado por la pandemia de COVID-19. Durante este año, las restricciones de movilidad y las medidas de distanciamiento social obligaron a las industrias a replantear sus procesos de producción. La necesidad de mantener la actividad económica mientras se minimizaba la presencia de personal humano en los lugares de trabajo impulsó la búsqueda de soluciones tecnológicas y automatizadas. Como resultado, se observa un interés creciente en el desarrollo y la implementación de tecnologías de la industria 4.0, para optimizar la producción y garantizar la continuidad de las operaciones en condiciones de distanciamiento social y aislamiento. Este fenómeno refleja la adaptabilidad y la capacidad innovadora de las industrias frente a desafíos inesperados como la pandemia de COVID-19.

Por otra parte, la siguiente agrupación de los resultados hace referencia a los artículos publicados en revistas o congresos (ver figura 9).

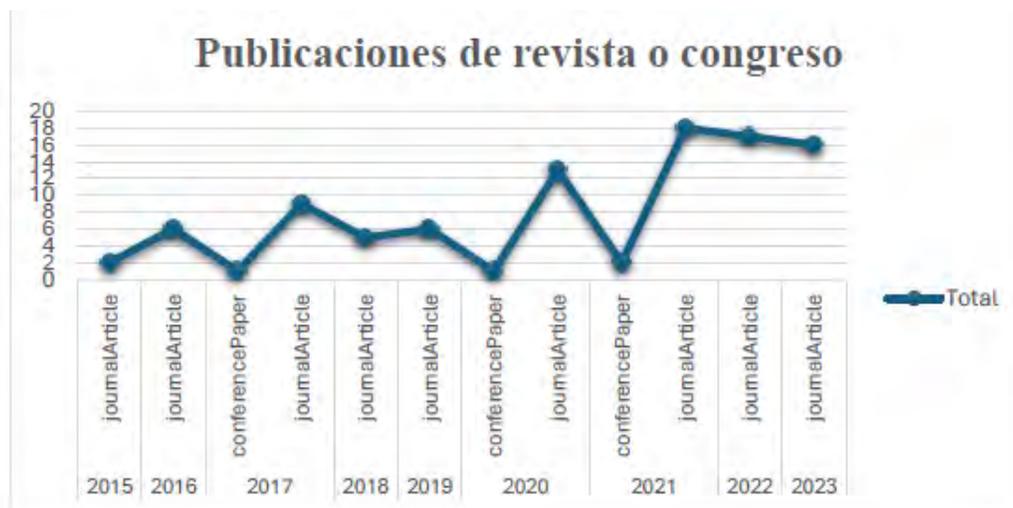


Figura 9 Publicaciones en revistas o congresos

Se observa que la mayoría de los artículos incluidos en esta investigación provienen de revistas científicas. Se destaca que los años 2017, 2020 y 2021 muestran artículos publicados en congresos, sumando un total de 4 publicaciones en conjunto. Este número refleja posiblemente fluctuaciones en el interés y la actividad investigativa durante esos períodos específicos. Del total de publicaciones

analizadas, el 96.2% se origina en revistas científicas, indicando una preferencia por este medio para la difusión de resultados y hallazgos científicos. Por otro lado, el 3.8% restante proviene de congresos, lo que sugiere la relevancia de estos eventos como plataformas para compartir investigaciones en el ámbito académico y profesional sobre este tema.

#### 4.1.2 Tecnologías identificadas

En los resultados obtenidos de la revisión sistemática, se destacó un amplio espectro de tecnologías inteligentes que están siendo implementadas por diversas industrias con el propósito explícito de mejorar su sostenibilidad y reducir su impacto ambiental. Estas tecnologías representan una variedad de enfoques innovadores y soluciones técnicas diseñadas para optimizar los procesos industriales, maximizar la eficiencia operativa y minimizar el desperdicio de recursos naturales, las tecnologías obtenidas se muestran en la figura 10.



Figura 10 Tecnologías identificadas

Estas tecnologías están impulsando la transformación digital gradualmente en los procesos manufactureros. Se utilizan de diversas formas para mejorar la eficiencia, la calidad, la sostenibilidad y la capacidad de respuesta de los procesos de producción ya que permiten una conexión y comunicación de equipos, detectan patrones o anomalías que puedan indicar problemas de calidad o fallos en el proceso, facilitan la optimización de los procesos, el almacenamiento, el procesamiento y el acceso a grandes volúmenes de datos generados para la producción en la industria manufacturera. Finalmente apoyan el ámbito sostenible optimizando los procesos y aprovechando los recursos, para favorecer lo económico, lo social y lo ambiental.

Tras la revisión, en los artículos se identificó la presencia y evolución de las tecnologías inteligentes a lo largo del periodo analizado del 2014-2024, sin embargo, es importante mencionar que una vez aplicado el proceso de cribado solo se encontró específicamente del periodo comprendido de 2015-2023, teniendo así un resultado nulo de dos años de esta investigación. Este análisis cronológico reveló la adopción y el desarrollo de estas tecnologías a lo largo del tiempo, lo que refleja la dinámica y la rápida evolución del campo de la industria 4.0 y la manufactura con un contexto sostenible (ver figura 11).



Figura 11 Línea del tiempo de las tecnologías inteligentes

Desde su introducción en el ámbito industrial, estas tecnologías han ido ganando protagonismo y siendo cada vez más integradas en los procesos de manufactura. Este hallazgo resalta la importancia de seguir de cerca la evolución tecnológica en este campo y aprovechar plenamente el potencial de estas innovaciones en el contexto industrial.

#### 4.1.3 Uso de las tecnologías inteligentes en procesos de manufactura

Las tecnologías relevantes en la investigación son las siguientes:

##### 4.1.3.1 *Internet de las cosas*

Es el sistema global que permite conectar los elementos físicos al Internet, estos elementos pueden ser domésticos, dispositivos médicos, maquinaria de las industrias, etc. Los dispositivos de internet de las cosas que se encuentran dentro de esos elementos físicos pertenecen a dos categorías: actuadores, estos envían las instrucciones a un elemento y sensores, estos recopilan datos y los envían a otro lugar.

De acuerdo con *Wu et al (2017)*, el proceso de recolección de datos para la fabricación de piezas metálicas para automóviles en tiempo real en cuanto a la condición de la máquina y el monitoreo de las vibraciones y el consumo de energía de las bombas se lleva a cabo de la siguiente manera (ver figura12):

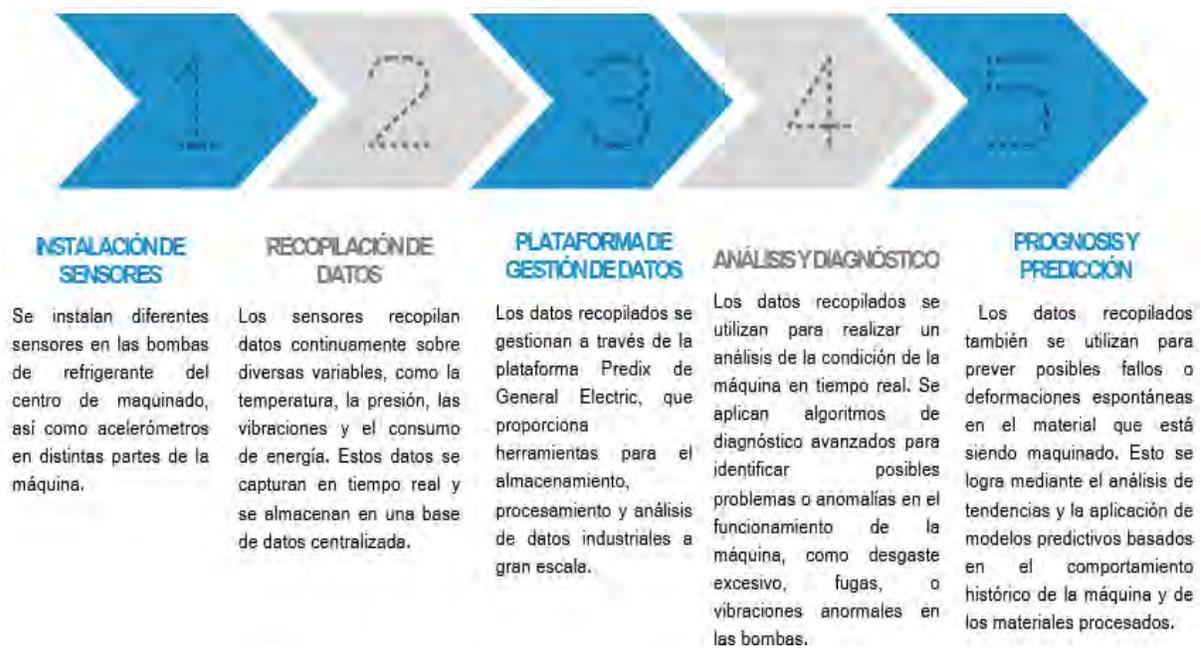


Figura 12 Uso del internet de las cosas

Este proceso de recolección de datos en tiempo real y su análisis a través de la plataforma *Predix* permite una gestión proactiva de la maquinaria industrial, facilitando el mantenimiento predictivo, la optimización de la eficiencia operativa y la reducción de costos asociados a paradas no planificadas y reparaciones de emergencia.

El impacto sostenible de este proceso hace referencia a que el monitoreo de las condiciones de la máquina y el consumo de energía de esta durante el proceso de maquinado permite, optimizar dicho proceso con algoritmos de diagnóstico y pronóstico, lo cual representa un menor consumo de energía en la fabricación de las piezas maquinadas.

#### 4.1.3.2 Aprendizaje automático

Es el análisis predictivo o aprendizaje estadístico, el cual consiste en extraer conocimiento de los datos. Brindando a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programadas explícitamente. Con esta tecnología las computadoras adquieren conocimiento de acuerdo con sus experiencias.

De acuerdo con *Li et al* (2023), el proceso de fabricación de tres tipos de medidas de administración médica (cápsulas, pastillas y parches) implica la identificación de parámetros clave que influyen en el consumo de energía y, por ende, en las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas. Estos parámetros incluyen la cantidad de objetos impresos, la temperatura de la placa de construcción, la temperatura de la boquilla y la altura de la capa durante el proceso de fabricación.

Para predecir con precisión las emisiones de CO<sub>2</sub> durante este proceso, se emplea el aprendizaje automático. Este enfoque de aprendizaje automático utiliza dos conjuntos de características: el nombre del objeto y sus características geométricas. Estos datos se utilizan para entrenar un modelo predictivo que puede estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la fabricación de cada tipo de medida de administración médica. El modelo se entrena utilizando datos históricos de consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que le permite aprender y mejorar su precisión con el tiempo. Una vez entrenado, el modelo puede utilizarse para realizar predicciones en tiempo real durante el proceso de fabricación, lo que permite tomar medidas proactivas para reducir las emisiones y mejorar la sostenibilidad del proceso de fabricación. Eso quiere decir que, reduciendo la temperatura de la placa de construcción, las emisiones de CO<sub>2</sub> significativamente van a disminuir.

#### 4.1.3.3 Gemelos digitales

Son una representación virtual de un sistema físico o proceso, que permite simular y analizar su comportamiento en tiempo real. Permitted detectar problemas con antelación y resolverlos más rápidamente.

De acuerdo con *Glatt et al* (2021), el proceso de fabricación de aerogeneradores implica una serie de pasos clave que se llevan a cabo para garantizar su eficiencia y sostenibilidad (ver figura 13).



Figura 13 Proceso de fabricación de aerogeneradores

Para garantizar la sostenibilidad del proceso de fabricación, se considera un indicador clave: el consumo energético. Este indicador se integra en el proceso mediante el cálculo del consumo de energía dentro del "Digital Twin" o gemelo digital, en donde se obtiene la optimización del proceso, se evita pérdida de tiempo y de desperdicio de material.

#### 4.1.3.4 Manufactura aditiva

Es una tecnología de impresión por capas que emplea el principio de integración de materiales capa por capa. Esta tecnología crea un objeto físico que replica el modelo tridimensional digital del objeto o el modelo tridimensional del objeto creado en el software por depositar el material constituyente en forma de capas usando herramienta de mecanizado controlada por ordenador.

De acuerdo con *Ashima et al (2021)*, el uso de la impresión 3D en este caso se da para crear estructuras complejas (antena de cuadro) de manera eficiente y

producir productos altamente personalizados. El proceso se describe a continuación:

- 1. Modelos de Deposición Fundida:** Este método de fabricación se basa en la deposición capa por capa de material fundido para construir objetos tridimensionales. En este caso, se utiliza *Ninjabflex*, un material polimérico flexible, como material de construcción. La tecnología de deposición fundida permite una gran flexibilidad en el diseño y la producción de piezas personalizadas.
- 2. Impresión de la Antena de Cuadro Extensible:** Utilizando la tecnología de impresión 3D con *Ninjabflex* como material de sustrato, se imprime una antena de cuadro extensible. Esta antena se diseña específicamente para aplicaciones de tensión inalámbrica con fines de detección. La flexibilidad del *Ninjabflex* permite la creación de estructuras complejas, como una antena extensible, con alta precisión y durabilidad.
- 3. Implementación en Dispositivos Electrónicos:** Una vez impresa, la antena de cuadro extensible se puede integrar en dispositivos electrónicos para monitorear la salud en tiempo real. Estos dispositivos pueden incluir monitores de salud portátiles, dispositivos médicos implantables u otros sistemas de detección remota. La antena extensible proporciona una solución flexible y eficaz para la transmisión inalámbrica de datos, lo que permite una monitorización precisa y no invasiva de diversos parámetros de salud.

Este proceso de fabricación combina la flexibilidad de la impresión 3D con materiales poliméricos avanzados para crear estructuras complejas y productos altamente personalizados. La aplicación de esta tecnología en la creación de antenas extensibles para dispositivos electrónicos ofrece nuevas oportunidades para la monitorización de la salud y otras aplicaciones de detección remota.

Su impacto sostenible es maximizar la utilización del material, ayudando a eliminar desperdicios. Reducen el tiempo de fabricación, reducen los costos laborales, los errores de fabricación y aumenta la calidad del producto.

#### 4.1.3.5 Inteligencia artificial

Es la combinación de algoritmos (conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema) planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano. Esas capacidades pueden ser el aprendizaje, el razonamiento y la percepción.

De acuerdo con *Selvaraj et al (2023)*, el proceso descrito en este trabajo implica la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial para la clasificación de los estados de trabajo de una máquina (ver figura 14).

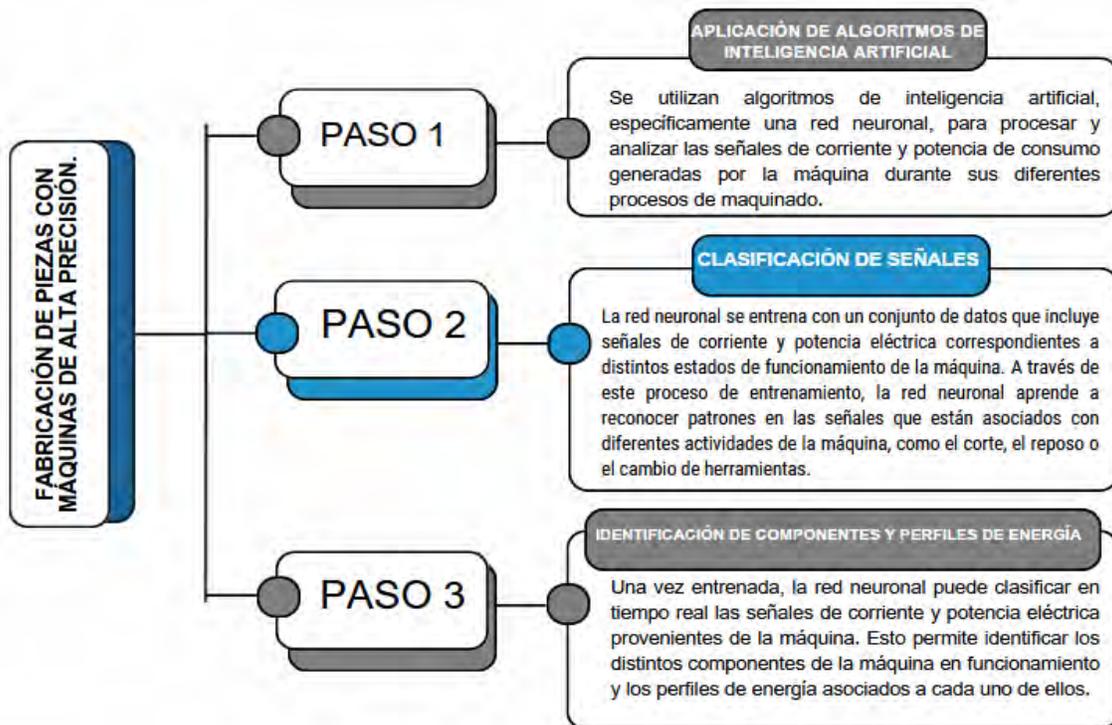


Figura 14 Uso de la inteligencia artificial

El impacto sostenible de esta tecnología es: la clasificación de los elementos permite optimizar el consumo de energía eléctrica, por ende, se reduce el costo

energético en la fabricación de piezas con máquinas de alta precisión. Adjunto al impacto energético se obtiene también la reducción de residuos en el proceso de maquinado.

Las tecnologías mencionadas son las que resultaron relevantes dentro de los artículos analizados. El Internet de las cosas fue la tecnología más frecuentemente mencionada, apareciendo en 28 ocasiones. Por su parte, el aprendizaje automático fue citado en 17 artículos, seguido por los gemelos digitales, presentes en 14 de ellos. La manufactura aditiva fue mencionada en 11 ocasiones, mientras que la inteligencia artificial estuvo presente en 10 de los 103 artículos incluidos en esta revisión.

Con el análisis, se puede inferir que las tecnologías no solo mejoran la eficiencia de los procesos y operaciones, sino que también posibilitan la revisión remota de los modelos operativos, anticipando posibles situaciones de riesgo y optimizando tanto las formas como los tiempos, especialmente en pruebas que suelen ser exhaustivas. Así mismo, contribuyen a fortalecer la confianza al asegurar que los procesos se gestionan de manera adecuada, garantizando así la obtención de los resultados esperados durante el proceso que se esté monitoreando.

La fabricación inteligente, impulsada por las tecnologías innovadoras, nace como el futuro sostenible de la manufactura, alentando a llevar a cabo prácticas ecoeficientes que benefician al medio ambiente, disminuyendo la huella de carbono, gestionando la energía y reduciendo los residuos, en la economía con el uso de estas tecnologías innovadoras, alineadas con principios de sostenibilidad se pueden disminuir los costos de fabricación final, contribuyendo positivamente a reducir costos operativos y promover la eficiencia en el uso y conservación de los recursos. En cuanto a la sociedad, también se beneficia de la fabricación inteligente sostenible. Estas prácticas fomentan la creación de empleos verdes y seguros, mejoran la calidad de vida al reducir la contaminación ambiental y promueven una mayor responsabilidad social por parte de las empresas. Además, al impulsar la innovación tecnológica, la fabricación inteligente contribuye al desarrollo de

comunidades más resilientes y sostenibles en el largo plazo creando así conciencia para un tener un mundo mejor.

Otro hallazgo de esta investigación hace referencia a la relación de las palabras clave de este tema, las cuales se fueron obtenidas con el uso de Vosviewer, esta es una herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas.

El mapa a continuación ilustra las relaciones entre las palabras clave identificadas en la investigación. Este mapa ofrece una visualización clara de cómo estas palabras clave están interconectadas y qué términos están más estrechamente relacionados entre sí (ver figura 15).

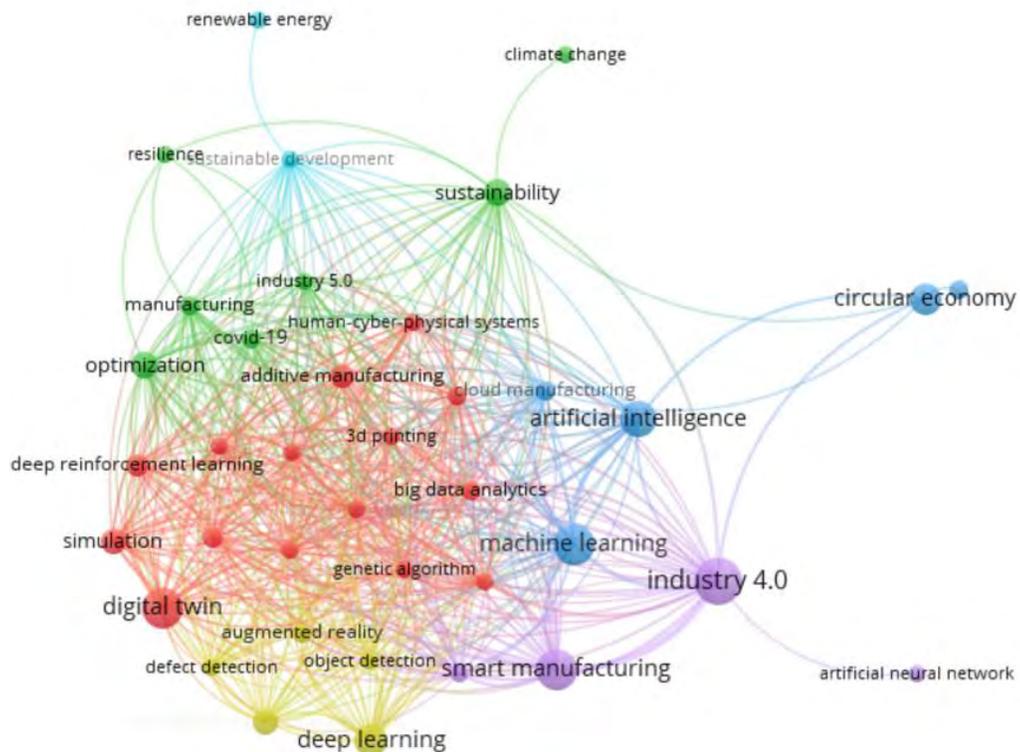


Figura 15 Relación de las palabras clave

Las palabras clave principales, tales como "industria 4.0", "sostenibilidad" y "manufactura inteligente", han sido identificadas como los pilares fundamentales de esta investigación. Estos términos se encuentran ubicados en el lado derecho del mapa y agrupan los temas centrales que se exploran. Por otro lado, en el cuadrante izquierdo se visualizan las tecnologías inteligentes identificadas en esta revisión.

Estas tecnologías complementan y refuerzan los conceptos clave, añadiendo una dimensión práctica y aplicada a los temas abordados.

Finalmente, se utiliza esta información para generar un mapa de correlación de autores. En este mapa, los autores se colocan en posiciones relativas basadas en la fuerza y la naturaleza de sus conexiones. Los autores que colaboran con frecuencia o que comparten temas de investigación similares tienden a estar más cerca entre sí en el mapa, mientras que aquellos con conexiones más débiles pueden estar más alejados (ver figura 16).

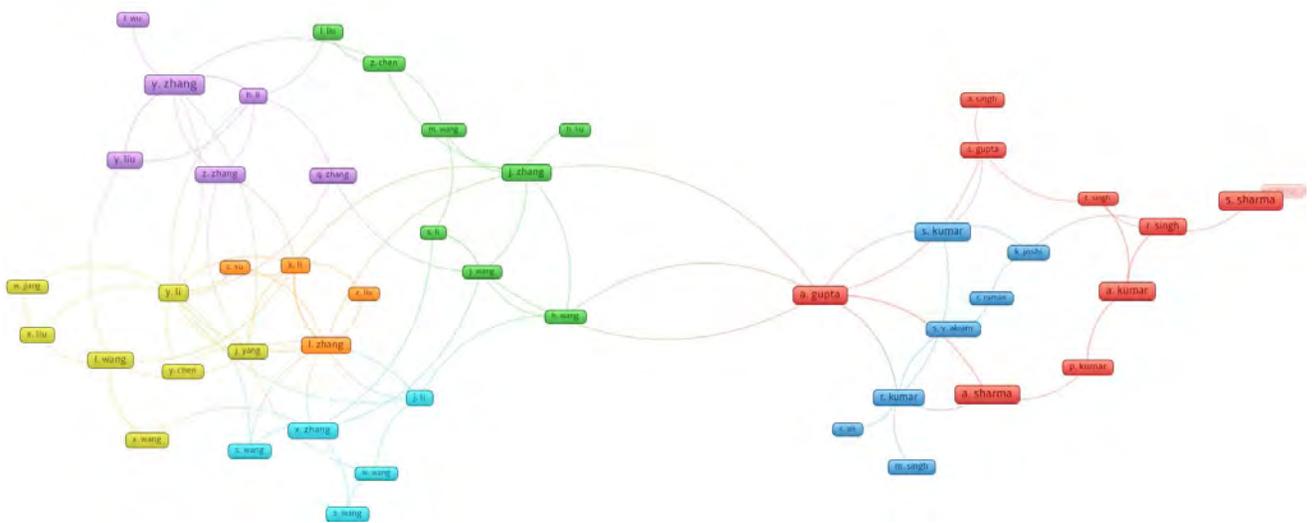


Figura 16 Correlación de autores

Se evidencia la colaboración y las relaciones entre los autores de esta investigación, tal como se refleja en la figura 17.

Color	Autor	Correlación
	A. Gupta	7
	J. Zhang	8
	S. Kumar	4
	Y. Li	12
	Y. Zhang	7
	X. Zhang	6
	I. Zhang	8

Figura 17 Correlación de autores por color

La clasificación por colores revela que Y. Li está más conectado con otros autores, seguido por J. Zhang e I. Zhang, quienes tienen 8 correlaciones cada uno. En tercer lugar, A. Gupta y Y. Zhang presentan un total de 7 correlaciones, mientras que X. Zhang cuenta con 6. La menor cantidad de correlaciones con otros autores se observa en S. Kumar.

#### 4.1.4 Beneficios del uso de las tecnologías inteligentes en los procesos de las industrias manufactureras

Con los resultados de la revisión sistemática, se puede evidenciar una variedad de beneficios derivados del uso de las tecnologías.

El uso de tecnologías en la planificación y control de la producción en el contexto de la Industria 4.0 puede proporcionar beneficios significativos en términos de eficiencia, visibilidad, flexibilidad, toma de decisiones, costos, calidad y satisfacción del cliente. Estos beneficios se describen a continuación en la figura 18.

## Beneficios

### Mejora de la eficiencia operativa

Las tecnologías permiten una mayor automatización de procesos, optimización de recursos y reducción de tiempos de producción.

### Mayor visibilidad y trazabilidad

Las tecnologías como IoT proporcionan una mayor visibilidad de la cadena de suministro y permiten rastrear productos y procesos en tiempo real.

### Flexibilidad y adaptabilidad

Las tecnologías inteligentes permiten una mayor flexibilidad en la planificación y control de la producción, lo que facilita la adaptación a cambios en la demanda o en los procesos de fabricación.

### Mejora de la toma de decisiones

Las tecnologías de análisis de datos y de simulación permiten una toma de decisiones más informada y basada en datos en tiempo real.

### Reducción de costos y desperdicios

La optimización de procesos a través de tecnologías inteligentes puede conducir a una reducción de costos operativos y a una menor generación de desperdicios.

### Mejora de la calidad y la satisfacción del cliente

La implementación de tecnologías avanzadas puede mejorar la calidad de los productos y servicios, lo que a su vez puede aumentar la satisfacción del cliente.

Figura 18 Beneficios del uso de las tecnologías inteligentes

Estos aspectos son sumamente provechosos para las industrias manufactureras, ya que les permiten mejorar su competitividad en un mercado en constante cambio. Sin embargo, es importante reconocer que también existen desafíos y puntos en contra del uso de estas tecnologías. Estos pueden incluir costos iniciales de implementación y mantenimiento, resistencia al cambio por parte del personal, preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de los datos, así como la necesidad de una capacitación continua para aprovechar al máximo las nuevas herramientas tecnológicas. Es crucial abordar estos aspectos de manera integral para garantizar una adopción exitosa y sostenible de las tecnologías en el entorno industrial.

## 4.2 Discusión

Basado en los contenidos y resultados encontrados, el análisis resaltó las siguientes consideraciones.

Teniendo en cuenta que un requisito previo importante para la fabricación inteligente es la integración ciber física, la implementación de tecnologías como Internet de las Cosas, aprendizaje automático, la simulación, los gemelos digitales y manufactura aditiva, los artículos (*Lugaresi et al., 2021*), (*Yin et al., 2018*), (*Dreyfus et al., 2022*), (*Ferreira Neto et al., 2021*), (*S. Kumar et al., 2020*) destacan el papel crucial de estas tecnologías en el avance hacia sistemas inteligentes de monitoreo y control, ya que estas tecnologías permiten la recopilación de datos en tiempo real, el análisis predictivo y la optimización de operaciones, lo que puede resultar en una mejora significativa de la sostenibilidad en la industria manufacturera. También mencionan que la aplicación de estas tecnologías ayuda a mejorar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad de las operaciones, contribuyendo a una gestión más eficaz de los recursos y una reducción del impacto ambiental.

Por otro lado, el enfoque de control holónico para el sistema de fabricación de neumáticos "verdes" (*Jovanović et al., 2016*), respaldado por tecnologías como Internet de las Cosas y simulación, ofrece herramientas y metodologías para mejorar la eficiencia, la adaptabilidad y la estabilidad del proceso de fabricación. La integración de estas tecnologías en el sistema promueve la sostenibilidad al mejorar la eficiencia energética, optimizar el uso de recursos y fortalecer la resiliencia del sistema frente a desafíos ambientales y operativos.

A propósito, las industrias manufactureras que se mencionan en los 103 artículos abarcan los sectores de fabricación automotriz, fabricación verde, textil, de neumáticos, de la agricultura, alimenticia y la manufactura en general ya que las tecnologías son flexibles porque tienen aplicaciones y beneficios potenciales en diversos sectores industriales.

Así pues, la adopción efectiva de tecnologías inteligentes en los procesos de manufactura no solo mejora la eficiencia y transparencia en la producción, sino que también puede contribuir significativamente a la sostenibilidad. Al optimizar la eficiencia operativa, reducir los residuos y mejorar la gestión de la cadena de suministro, estas tecnologías están desempeñando un papel decisivo en la evolución hacia una fabricación más sostenible y responsable. Además de los beneficios tangibles en términos de eficiencia y reducción de impacto ambiental, la adopción de tecnologías sostenibles también puede generar conciencia en la industria, promoviendo prácticas más responsables y comprometidas con el cuidado del medio ambiente. En este sentido, las tecnologías inteligentes no solo ofrecen ventajas operativas, sino que también fomentan un cambio cultural hacia una producción más consciente y respetuosa con el entorno.

## **Capítulo 5.**

### **Conclusiones y trabajos futuros**

---

## 5.1 Conclusiones

El presente trabajo representa una investigación en el campo de la manufactura inteligente con un enfoque en la sostenibilidad, pues durante el desarrollo de la revisión sistemática se identificaron las tecnologías inteligentes que son aplicadas para mejorar la sostenibilidad en las industrias manufactureras dando respuesta a la pregunta de investigación, ya que se obtuvieron un total de 21 tecnologías inteligentes de los 103 artículos evaluados, pero solo cinco tecnologías son las más destacadas, pues se cree que hay más aplicación de estas cinco tecnologías en la manufactura, por ende se resaltan en este estudio, considerando que a las tecnologías restantes les hace falta aplicación en la manufactura y mayor investigación.

Se llevaron a cabo las fases planificadas con precisión, lo que facilitó el logro de los objetivos establecidos. Los procedimientos fueron ejecutados de acuerdo con el plan metodológico, lo que garantizó la obtención de datos relevantes y la realización de análisis rigurosos. Por lo tanto, el cumplimiento de las fases de la metodología resultó fundamental para lograr exitosamente tanto el objetivo general como los objetivos específicos del estudio.

Esta revisión sistemática destaca el papel fundamental de las tecnologías inteligentes en la promoción de prácticas sostenibles en las industrias. Desde el Internet de las Cosas, la fabricación aditiva, la inteligencia artificial, entre otras. Estas tecnologías ofrecen herramientas poderosas para optimizar procesos, reducir el desperdicio, mejorar la eficiencia energética y promover la toma de decisiones informadas.

El análisis exhaustivo de la literatura demuestra que estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también tienen un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, social y económica de las industrias. Desde la optimización del consumo de energía hasta la reducción de emisiones y la promoción de prácticas responsables en la cadena de suministro, las tecnologías

inteligentes están impulsando una transformación significativa hacia un futuro más sostenible.

Se destaca que las tecnologías inteligentes identificadas en esta investigación abarcan un amplio espectro. Además, se observó que estas tecnologías tienden a trabajar en conjunto. Por ejemplo, se detectó que, para llevar a cabo un proceso de manufactura, se emplean hasta tres tecnologías simultáneamente. Este hallazgo resalta la interconexión y la sinergia entre diversas tecnologías para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en los procesos industriales.

Finalmente, cabe mencionar que se emplearon diversas herramientas durante el proceso de revisión, las cuales fueron fundamentales para garantizar la eficiencia y efectividad de este proyecto. Estas herramientas desempeñaron un papel crucial al examinar y sintetizar la información recopilada de manera estructurada y significativa. En conjunto, brindaron el respaldo necesario para llevar a cabo la revisión de manera sistemática y obtener resultados de calidad que estuvieran alineados con los objetivos del proyecto.

## 5.2 Trabajos futuros

Las futuras investigaciones podrían explorar las siguientes direcciones identificadas durante el estudio:

1. Evaluar el impacto a largo plazo en la sostenibilidad de las industrias mediante la integración de tecnologías inteligentes.
2. Analizar el concepto emergente de industria 5.0.

Estas áreas muestran un gran potencial para enriquecer diferentes aspectos de la investigación académica sobre este tema.

## 5.3 Logros obtenidos

### 1. Cursos:

- Revisión de la búsqueda bibliográfica y escritura de la tesis, del 16 al 20 de enero de 2023, con una duración de 30 horas.
- Inglés, del 29 de mayo al 9 de junio de 2023, con una duración de 30 horas
- Introducción am *Machine Learning*, del 08 al 19 de enero de 2024, con una duración de 30 horas.

### 2. Artículos:

- Análisis de revisiones sistemáticas sobre las tecnologías inteligentes utilizadas en las industrias de fabricación. ISSN: en trámite.
- Herramientas facilitadoras de revisiones sistemáticas. ISSN: 2954-5129.
- Revisión sistemática del uso de tecnologías inteligentes enforçadas en los procesos de las industrias sostenibles (en proceso).

### 3. Ponencia:

- Exposición presencial del artículo: análisis de revisiones sistemáticas sobre las tecnologías inteligentes utilizadas en las industrias de fabricación en el marco de la x jornada de ciencia y tecnología aplicada, celebrada del 26 al 28 de abril de 2023, en el TECN/CENIDET.
- Feria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación “Soy mujer y hago ciencia”, celebrada el 11 de febrero de 2023 en Jojutla, Morelos.

# Bibliografía

- Adaloudis, M., & Bonnin Roca, J. (2021). Sustainability tradeoffs in the adoption of 3D Concrete Printing in the construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127201>
- Adams, S., Malinowski, M., Heddy, G., Choo, B., & Beling, P. A. (2017). The WEAR methodology for prognostics and health management implementation in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.07.002>
- Adamson, G., Wang, L., & Moore, P. (2017). Feature-based control and information framework for adaptive and distributed manufacturing in cyber physical systems. *High Performance Computing and Data Analytics for Cyber Manufacturing*, 43, 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.12.003>
- Andersen, D. L., Ashbrook, C. S. A., & Karlborg, N. B. (2020). Significance of big data analytics and the internet of things (IoT) aspects in industrial development, governance and sustainability. *International Journal of Intelligent Networks*, 1, 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2020.12.003>
- Andronie, M., Lăzăroiu, G., Ștefănescu, R., Uță, C., & Dijmărescu, I. (2021). Sustainable, Smart, and Sensing Technologies for Cyber-Physical Manufacturing Systems: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(10), 5495. <https://doi.org/10.3390/su13105495>
- Arnarson, H., Yu, H., Olavsbråten, M. M., Bremdal, B. A., & Solvang, B. (2023). Towards smart layout design for a reconfigurable manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 354–367. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.03.012>
- Asha, P., Mannepalli, K., Khilar, R., Subbulakshmi, N., Dhanalakshmi, R., Tripathi, V., Mohanavel, V., Sathyamurthy, R., & Sudhakar, M. (2022). Role of machine learning in attaining environmental sustainability. *Energy Reports*, 8, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.206>
- Ashima, R., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Kumar Mahla, S., & Singh, S. (2021). Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5081–5088. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.583>
- Attaran, M., Attaran, S., & Celik, B. G. (2023). The impact of digital twins on the evolution of intelligent manufacturing and Industry 4.0. *Advances in Computational Intelligence*, 3(3), 11. <https://doi.org/10.1007/s43674-023-00058-y>
- Awasthi, A., Saxena, K. K., & Arun, V. (2021). Sustainable and smart metal forming manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2069–2079. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.177>
- Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J., & Sartor, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127733. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733>
- Blanco Ortega, A., Isidro Godoy, J., Szwedowicz Wasik, D. S., Martínez Rayón, E., Cortés García, C., Ramón Azcaray Rivera, H., & Gómez Becerra, F. A. (2022).
- Blaya, F., Pedro, P. S., Silva, J. L., D'Amato, R., Heras, E. S., & Juanes, J. A. (2018). Design of an Orthopedic Product by Using Additive Manufacturing Technology: The Arm Splint. *Journal of Medical Systems*, 42(3), 54. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0909-6>

- Biomechanics of the Upper Limbs: A Review in the Sports Combat Ambit Highlighting Wearable Sensors. *Sensors*, 22(13), 4905. <https://doi.org/10.3390/s22134905>
- Böhner, J., Scholz, M., Franke, J., & Sauer, A. (2018). Integrating digitization technologies into resource efficiency driven industrial learning environments. *Procedia Manufacturing*, 23, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.158>
- Brad, E., & Brad, S. (2021). Algorithm for Designing Reconfigurable Equipment to Enable Industry 4.0 and Circular Economy-Driven Manufacturing Systems. *Applied Sciences*, 11(10), 4446. <https://doi.org/10.3390/app11104446>
- Bueno, A., Godinho Filho, M., & Frank, A. G. (2020). Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106774. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106774>
- Camarinha-Matos, L. M., Rocha, A. D., & Graça, P. (2022). Collaborative approaches in sustainable and resilient manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02060-6>
- Centro Cochrane Iberoamericano traductores. (2011). *Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones*. 2012, 639.
- Cochrane A, 2012. *Manual cochrane para revisiones sistemáticas de intervención*. Centro iberoamericano 638pg
- Charles, A., Salem, M., Moshiri, M., Elkaseer, A., & Scholz, S. G. (2021). In-Process Digital Monitoring of Additive Manufacturing: Proposed Machine Learning Approach and Potential Implications on Sustainability. En S. G. Scholz, R. J. Howlett, & R. Setchi (Eds.), *Sustainable Design and Manufacturing 2020* (Vol. 200, pp. 297–306). Springer Singapore. [http://link.springer.com/10.1007/978-981-15-8131-1\\_27](http://link.springer.com/10.1007/978-981-15-8131-1_27)
- Chourasia, S., Tyagi, A., Pandey, S. M., Walia, R. S., & Murtaza, Q. (2022). Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges. *MAPAN*, 37(2), 443–452. <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00541-w>
- CL Tigabytes. (2023). Cinco tecnologías inteligentes que contribuyen a la transformación digital. <https://es.linkedin.com/pulse/5-tecnolog%C3%ADas-inteligentes-que-contribuyen-la-transformaci%C3%B3n>
- Dani, I., Drossel, W.-G., Milaev, N., Korn, H., Hannemann, C., Hohlfeld, J., & Wertheim, R. (2020). Sustainability of industrial components using additive manufacturing and foam materials. *Procedia Manufacturing*, 43, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.102>
- David, J., Coatanéa, E., & Lobov, A. (2023). Deploying OWL ontologies for semantic mediation of mixed-reality interactions for human–robot collaborative assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 359–381. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.07.013>
- Deep, K., & Singh, P. K. (2015). Design of robust cellular manufacturing system for dynamic part population considering multiple processing routes using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.09.008>
- DePalma, K., Walluk, M. R., Murtaugh, A., Hilton, J., McConky, S., & Hilton, B. (2020). Assessment of 3D printing using fused deposition modeling and selective laser sintering for a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121567>
- Despeisse, M., & Ford, S. (2015). The Role of Additive Manufacturing in Improving Resource Efficiency and Sustainability. En S. Umeda, M. Nakano, H. Mizuyama, H. Hibino, D. Kiritsis, & G. Von Cieminski (Eds.), *Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable*

Growth (Vol. 460, pp. 129–136). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7_15)

- Dreyfus, P.-A., Pélissier, A., Psarommatis, F., & Kiritsis, D. (2022). Data-based model maintenance in the era of industry 4.0: A methodology. *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.03.015>
- Ferreira González, I., Urrútia, G., & Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: Bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688–696. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029>
- Ferreira Neto, W. A., Cavalcante, C. A. V., Santos, A. C. J., Araújo, L. H. C., Alberti, A. R., & Lima, H. B. V. (2021). An inspection policy for shredder equipment used in steel production lines considering buffer level and operating time. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 640–651. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.06.013>
- Ferreri Juan Carlos. (2021). LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES: MÚLTIPLES ASPECTOS DE SU IMPACTO. Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. [https://www.ciencias.org.ar/user/ANCBA%20-%20X%20Encuentro%20\(2\).pdf](https://www.ciencias.org.ar/user/ANCBA%20-%20X%20Encuentro%20(2).pdf)
- Fisher, O., Watson, N., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M., & Gomes, R. L. (2018). Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.03.005>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Fredriksson, C. (2019). Sustainability of metal powder additive manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 33, 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.018>
- Freitas, D., Almeida, H. A., Bártolo, H., & Bártolo, P. J. (2016). Sustainability in extrusion-based additive manufacturing technologies. *Progress in Additive Manufacturing*, 1(1–2), 65–78. <https://doi.org/10.1007/s40964-016-0007-6>
- Furstenau, L. B., Sott, M. K., Kipper, L. M., Machado, E. L., Lopez-Robles, J. R., Dohan, M. S., Cobo, M. J., Zahid, A., Abbasi, Q. H., & Imran, M. A. (2020). Link Between Sustainability and Industry 4.0: Trends, Challenges and New Perspectives. *IEEE Access*, 8, 140079–140096. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012812>
- García-Perdomo, H. A. (2015). Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis. *Urología Colombiana*, 24(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005>
- Geurtsen, M., Adan, I., & Atan, Z. (2023). Deep reinforcement learning for optimal planning of assembly line maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, 69, 170–188. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.05.011>
- Glatt, M., Kölsch, P., Siedler, C., Langlotz, P., Ehmsen, S., & Aurich, J. C. (2021). Edge-based Digital Twin to trace and ensure sustainability in cross-company production networks. *Procedia CIRP*, 98, 276–281. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.103>
- Glatt, M., Sinnwell, C., Yi, L., Donohoe, S., Ravani, B., & Aurich, J. C. (2021). Modeling and implementation of a digital twin of material flows based on physics simulation. *Digital Twin towards Smart Manufacturing and Industry 4.0*, 58, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.015>
- Griffiths, C. A., Howarth, J., De Almeida-Rowbotham, G., Rees, A., & Kerton, R. (2016). A design of experiments approach for the optimisation of energy and waste during the production of parts manufactured by 3D printing. *Journal of Cleaner Production*, 139, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.182>

- Guirao Goris, S. J. A. (2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. *Ene*, 9(2), 0–0. <https://doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002>
- Guo, H., Chen, M., Mohamed, K., Qu, T., Wang, S., & Li, J. (2021). A digital twin-based flexible cellular manufacturing for optimization of air conditioner line. *Digital Twin towards Smart Manufacturing and Industry 4.0*, 58, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.012>
- Hasan, M., & Starly, B. (2020). Decentralized cloud manufacturing-as-a-service (CMaaS) platform architecture with configurable digital assets. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 157–174. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.017>
- He, B., & Bai, K.-J. (2021). Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: A review. *Advances in Manufacturing*, 9(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s40436-020-00302-5>
- He, Z., Tran, K. P., Thomassey, S., Zeng, X., Xu, J., & Yi, C. (2022). Multi-objective optimization of the textile manufacturing process using deep-Q-network based multi-agent reinforcement learning. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 939–949. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.017>
- Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf. (s/f).
- Isensee, C., Griese, K.-M., & Teuteberg, F. (2021). Sustainable artificial intelligence: A corporate culture perspective. *Sustainability Management Forum | NachhaltigkeitsManagementForum*, 29(3–4), 217–230. <https://doi.org/10.1007/s00550-021-00524-6>
- Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., & Rahimifard, S. (2021). Optimisation of the resource efficiency of food manufacturing via the Internet of Things. *Computers in Industry*, 127, 103397. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103397>
- Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M., Kumar, V., & Kumar, S. (2021). Developing A sustainability framework for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 98, 430–435. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.129>
- Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., Khan, S., & Suman, R. (2022). Sustainability 4.0 and its applications in the field of manufacturing. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.06.001>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
- Ji, W., & Wang, L. (2017). Big data analytics based fault prediction for shop floor scheduling. *Journal of Manufacturing Systems*, 43, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.03.008>
- Jin, J., Hu, J., Li, C., Shi, Z., Lei, P., & Tian, W. (2023). A Digital Twin system of reconfigurable tooling for monitoring and evaluating in aerospace assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 56–71. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.03.004>
- Johri, P., Singh, J. N., Sharma, A., & Rastogi, D. (2021). Sustainability of Coexistence of Humans and Machines: An Evolution of Industry 5.0 from Industry 4.0. 2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), 410–414. <https://doi.org/10.1109/SMART52563.2021.9676275>
- Jovanović, M., Zupan, S., & Prebil, I. (2016). Holonic control approach for the “green”-tyre manufacturing system using IEC 61499 standard. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 119–136. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.06.008>

- Katsigiannis, M., Pantelidakis, M., Mykoniatis, K., & Purdy, G. (2023). Current monitoring for a fused filament fabrication additive manufacturing process using an Internet of Things system. *Manufacturing Letters*, 35, 933–939. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.013>
- Kies, A. D., Krauß, J., Schmetz, A., Schmitt, R. H., & Brecher, C. (2022). Interaction of Digital Twins in a Sustainable Battery Cell Production. *Procedia CIRP*, 107, 1216–1220. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.134>
- Kim, G.-Y., Flores-García, E., Wiktorsson, M., & Do Noh, S. (2021). Exploring Economic, Environmental, and Social Sustainability Impact of Digital Twin-Based Services for Smart Production Logistics. En A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. Von Cieminski, & D. Romero (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems* (Vol. 634, pp. 20–27). Springer International Publishing. [https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-85914-5\\_3](https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-85914-5_3)
- Kumar, S., Gopi, T., Harikeerthana, N., Gupta, M. K., Gaur, V., Krolczyk, G. M., & Wu, C. (2023). Machine learning techniques in additive manufacturing: A state of the art review on design, processes and production control. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 21–55. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02029-5>
- Kumar, S., Manjrekar, V., Singh, V., & Kumar Lad, B. (2020). Integrated yet distributed operations planning approach: A next generation manufacturing planning system. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 103–122. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.12.001>
- Kumar, V., Pallathadka, H., Kumar Sharma, S., Thakar, C. M., Singh, M., & Kirana Pallathadka, L. (2022). Role of machine learning in green supply chain management and operations management. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2485–2489. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.625>
- Kumbhar, M., Ng, A. H. C., & Bandaru, S. (2023). A digital twin based framework for detection, diagnosis, and improvement of throughput bottlenecks. *Journal of Manufacturing Systems*, 66, 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.11.016>
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Laplume, A. O., Petersen, B., & Pearce, J. M. (2016). Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies*, 47(5), 595–609. <https://doi.org/10.1057/jibs.2015.47>
- Leal Filho, W., Yang, P., Eustachio, J. H. P. P., Azul, A. M., Gellers, J. C., Gielczyk, A., Dinis, M. A. P., & Kozlova, V. (2023). Deploying digitalisation and artificial intelligence in sustainable development research. *Environment, Development and Sustainability*, 25(6), 4957–4988. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02252-3>
- Lee, H. (2017). Framework and development of fault detection classification using IoT device and cloud environment. *High Performance Computing and Data Analytics for Cyber Manufacturing*, 43, 257–270. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.02.007>
- Lee, J., & Yang, C. (2022). Deep neural network and meta-learning-based reactive sputtering with small data sample counts. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 703–717. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.004>
- Lee, W. J., Mendis, G. P., & Sutherland, J. W. (2019). Development of an Intelligent Tool Condition Monitoring System to Identify Manufacturing Tradeoffs and Optimal Machining Conditions. *Procedia Manufacturing*, 33, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.031>
- Li, H., Alkahtani, M. E., Basit, A. W., Elbadawi, M., & Gaisford, S. (2023). Optimizing environmental sustainability in pharmaceutical 3D printing through machine learning. *International Journal of Pharmaceutics*, 648, 123561. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123561>

- Li, L., Qu, T., Liu, Y., Zhong, R. Y., Xu, G., Sun, H., Gao, Y., Lei, B., Mao, C., Pan, Y., Wang, F., & Ma, C. (2020). Sustainability Assessment of Intelligent Manufacturing Supported by Digital Twin. *IEEE Access*, 8, 174988–175008. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3026541>
- Liao, H.-T., & Wang, Z. (2020). Sustainability and Artificial Intelligence: Necessary, Challenging, and Promising Intersections. 2020 Management Science Informatization and Economic Innovation Development Conference (MSIEID), 360–363. <https://doi.org/10.1109/MSIEID52046.2020.00076>
- Liu, C., Cao, S., Tse, W., & Xu, X. (2017). Augmented Reality-assisted Intelligent Window for Cyber-Physical Machine Tools. Special Issue on Latest advancements in manufacturing systems at NAMRC 45, 44, 280–286. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.008>
- Liu, Q., Liu, M., Wang, Z., Yan, F., Ma, Y., & Shen, W. (2022). A novel intelligent manufacturing mode with human-cyber-physical collaboration and fusion in the non-ferrous metal industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1–2), 549–569. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08250-5>
- Los pilares del desarrollo sostenible: Sofisma o realidad. (2013). Universidad Santo Tomás.
- Los Diez Principios – Pacto Global México. En *Org.mx*. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <https://pactoglobal.org.mx/diez-principios-del-pacto-mundial/Park, H.-S., &>
- Lugaresi, G., Alba, V. V., & Matta, A. (2021). Lab-scale Models of Manufacturing Systems for Testing Real-time Simulation and Production Control Technologies. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.09.003>
- M. N. Sishi & A. Telukdarie. (2021). Supply Chain Energy Sustainability with Artificial Intelligence. 2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Europe (TEMSCON-EUR), 1–6. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON-EUR52034.2021.9488609>
- Ma, S., Ding, W., Liu, Y., Ren, S., & Yang, H. (2022). Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing based on information management systems for energy-intensive industries. *Applied Energy*, 326, 119986. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119986>
- Majeed, A., Zhang, Y., Ren, S., Lv, J., Peng, T., Waqar, S., & Yin, E. (2021). A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 102026. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102026>
- Mao, S., Wang, B., Tang, Y., & Qian, F. (2019). Opportunities and Challenges of Artificial Intelligence for Green Manufacturing in the Process Industry. *Engineering*, 5(6), 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.08.013>
- Martikkala, A., Mayanti, B., Helo, P., Lobov, A., & Ituarte, I. F. (2023). Smart textile waste collection system – Dynamic route optimization with IoT. *Journal of Environmental Management*, 335, 117548. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117548>
- Matos, F., Vairinhos, V., Salavisa, I., Edvinsson, L., & Massaro, M. (Eds.). (2020). *Knowledge, People, and Digital Transformation: Approaches for a Sustainable Future*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40390-4>
- Matsumoto, M., Masui, K., Fukushige, S., & Kondoh, S. (Eds.). (2017). *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0471-1>
- Merayo, D., Rodríguez-Prieto, A., & Camacho, A. M. (2019). Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 41, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.027>

- Mehrpouya, M., Dehghanhadikolaei, A., Fotovvati, B., Vosooghnia, A., Emamian, S. S., & Gisario, A. (2019). The Potential of Additive Manufacturing in the Smart Factory Industrial 4.0: A Review. *Applied Sciences*, 9(18), 3865. <https://doi.org/10.3390/app9183865>
- Mertes, J., Lindenschmitt, D., Amirrezai, M., Tashakor, N., Glatt, M., Schellenberger, C., Shah, S. M., Karnoub, A., Hobelsberger, C., Yi, L., Götz, S., Aurich, J. C., & Schotten, H. D. (2022). Evaluation of 5G-capable framework for highly mobile, scalable human-machine interfaces in cyber-physical production systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 578–593. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.08.009>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233(5), 1342–1361. <https://doi.org/10.1177/0954405417736547>
- Mrugalska, B., Dovramadjiev, T., Pavlova, D., Filchev, R., Stoeva, M., Bozhikova, V., & Dimova, R. (2021). Open source systems and 3D computer design applicable in the dental medical engineering Industry 4.0 – sustainable concept. *Procedia Manufacturing*, 54, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.09.002>
- Muthu, S. S., & Savalani, M. M. (Eds.). (2016). *Handbook of Sustainability in Additive Manufacturing*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0549-7>
- Ng, T. C., Lau, S. Y., Ghobakhloo, M., Fathi, M., & Liang, M. S. (2022). The Application of Industry 4.0 Technological Constituents for Sustainable Manufacturing: A Content-Centric Review. *Sustainability*, 14(7), 4327. <https://doi.org/10.3390/su14074327>
- Nagorny, K., Lima-Monteiro, P., Barata, J., & Colombo, A. W. (2017). Big Data Analysis in Smart Manufacturing: A Review. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 10(03), 31–58. <https://doi.org/10.4236/ijcns.2017.103003>
- Nilashi, M., Rupani, P. F., Rupani, M. M., Kamyab, H., Shao, W., Ahmadi, H., Rashid, T. A., & Aljojo, N. (2019). Measuring sustainability through ecological sustainability and human sustainability: A machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118162>
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035>
- Ogbemhe, J., Mpofu, K., & Tlale, N. S. (2017). Achieving Sustainability in Manufacturing Using Robotic Methodologies. *Procedia Manufacturing*, 8, 440–446. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.056>
- Oropallo, W., & Piegl, L. A. (2016). Ten challenges in 3D printing. *Engineering with Computers*, 32(1), 135–148. <https://doi.org/10.1007/s00366-015-0407-0>
- Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221, 107476. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>
- Oyekanlu, E. A., Smith, A. C., Thomas, W. P., Mulroy, G., Hitesh, D., Ramsey, M., Kuhn, D. J., Mcghinnis, J. D., Buonavita, S. C., Looper, N. A., Ng, M., Ng'oma, A., Liu, W., McBride, P. G., Shultz, M. G., Cerasi, C., & Sun, D. (2020). A Review of Recent Advances in Automated Guided Vehicle Technologies: Integration Challenges and Research Areas for 5G-Based Smart Manufacturing Applications. *IEEE Access*, 8, 202312–202353. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3035729>
- Palomares, I., Martínez-Cámara, E., Montes, R., García-Moral, P., Chiachio, M., Chiachio, J., Alonso, S., Melero, F. J., Molina, D., Fernández, B., Moral, C., Marchena, R., De Vargas, J. P., & Herrera, F. (2021). A panoramic view and swot analysis of artificial intelligence for achieving the sustainable development goals by 2030: Progress and prospects. *Applied Intelligence*, 51(9), 6497–6527. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02264-y>

- Panda, B., Paul, S. C., Hui, L. J., Tay, Y. W. D., & Tan, M. J. (2017). Additive manufacturing of geopolymer for sustainable built environment. *Journal of Cleaner Production*, 167, 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.165>
- Paraschos, P. D., Koulinas, G. K., & Koulouriotis, D. E. (2023). A reinforcement learning/ad-hoc planning and scheduling mechanism for flexible and sustainable manufacturing systems. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09496-9>
- Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A. W., & Barata, J. (2020). Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0—Systematic Review, Challenges and Outlook. *IEEE Access*, 8, 220121–220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>
- Preez, A. D., & Oosthuizen, G. A. (2019). Machine learning in cutting processes as enabler for smart sustainable manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 33, 810–817. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.102>
- Purcell, W., Neubauer, T., & Mallinger, K. (2023). Digital Twins in agriculture: Challenges and opportunities for environmental sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, 101252. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101252>
- Qiao, F., Liu, J., & Ma, Y. (2021). Industrial big-data-driven and CPS-based adaptive production scheduling for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 59(23), 7139–7159. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1836417>
- Qin, J., Hu, F., Liu, Y., Witherell, P., Wang, C. C. L., Rosen, D. W., Simpson, T. W., Lu, Y., & Tang, Q. (2022). Research and application of machine learning for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 52, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102691>
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2017). A Framework of Energy Consumption Modelling for Additive Manufacturing Using Internet of Things. *Procedia CIRP*, 63, 307–312. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.036>
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, 19(2), 177–191. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- Schönemann, M., Herrmann, C., Greschke, P., & Thiede, S. (2015). Simulation of matrix-structured manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.09.002>
- Schorr, S., Möller, M., Heib, J., & Bähre, D. (2020). Quality Prediction of Drilled and Reamed Bores Based on Torque Measurements and the Machine Learning Method of Random Forest. *Procedia Manufacturing*, 48, 894–901. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.127>
- Schorr, S., Möller, M., Heib, J., Fang, S., & Bähre, D. (2020). Quality Prediction of Reamed Bores Based on Process Data and Machine Learning Algorithm: A Contribution to a More Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 43, 519–526. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.180>
- Seguí, J. M., & Peiró, P. T. *Introducción a la industria 4.0.*
- Selvaraj, V., Xu, Z., & Min, S. (2023). Intelligent Operation Monitoring of an Ultra-Precision CNC Machine Tool Using Energy Data. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 10(1), 59–69. <https://doi.org/10.1007/s40684-022-00449-5>
- Senen Barro, Rouhiainen Lasse. (2020). *Innovación y tecnologías inteligentes. Foro económico de Galicia.* <https://api.foroeconomicodegalicia.es/uploads/FEG/originals/b85559c4-758b-4df1-968b-24f1f974e11e.pdf>
- Serrano-Ruiz, J. C., Mula, J., & Poler, R. (2021). Smart manufacturing scheduling: A literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 265–287. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.09.01>

- Selvaraj, V., Xu, Z., & Min, S. (2023). Intelligent Operation Monitoring of an Ultra-Precision CNC Machine Tool Using Energy Data. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 10(1), 59–69. <https://doi.org/10.1007/s40684-022-00449-5>
- Sjödín, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-Technology Management*, 61(5), 22–31. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- Susana Ferreira, S. F., Larreina, J., Tena, M., Leunda, J., Garmendia, I., & Arnaiz, A. (2021). Artificial Intelligence Methodology for Smart and Sustainable Manufacturing Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 1041–1046. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.201>
- Straathof, A. J. J., Wahl, S. A., Benjamin, K. R., Takors, R., Wierckx, N., & Noorman, H. J. (2019). Grand Research Challenges for Sustainable Industrial Biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 37(10), 1042–1050. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.04.002>
- Tabaa, M., Monteiro, F., Bensag, H., & Dandache, A. (2020). Green Industrial Internet of Things from a smart industry perspectives. *Energy Reports*, 6, 430–446. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.022>
- Tsolakis, N., Schumacher, R., Dora, M., & Kumar, M. (2023). Artificial intelligence and blockchain implementation in supply chains: A pathway to sustainability and data monetisation? *Annals of Operations Research*, 327(1), 157–210. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04785-2>
- Tran, N.-H. (2015). Development of a cloud based smart manufacturing system. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 9(3), JAMDSM0030–JAMDSM0030. <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2015jamdsm0030>
- Tzachor, A., Richards, C. E., & Jeen, S. (2022). Transforming agrifood production systems and supply chains with digital twins. *Npj Science of Food*, 6(1), 47. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00162-2>
- Wang, K., Dave, P., Hanchate, A., Sagapuram, D., Natarajan, G., & Bukkapatnam, S. T. S. (2022). Implementing an open-source sensor data ingestion, fusion, and analysis capabilities for smart manufacturing. *Manufacturing Letters*, 33, 893–901. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2022.07.109>
- Wu, D., Liu, S., Zhang, L., Terpenney, J., Gao, R. X., Kurfess, T., & Guzzo, J. A. (2017). A fog computing-based framework for process monitoring and prognosis in cyber-manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 43, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.02.011>
- X. Yao, J. Zhou, J. Zhang, & C. R. Boër. (2017). From Intelligent Manufacturing to Smart Manufacturing for Industry 4.0 Driven by Next Generation Artificial Intelligence and Further On. 2017 5th International Conference on Enterprise Systems (ES), 311–318. <https://doi.org/10.1109/ES.2017.58>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIE Transactions*, 51(11), 1190–1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- Yang, T., Yi, X., Lu, S., Johansson, K. H., & Chai, T. (2021). Intelligent Manufacturing for the Process Industry Driven by Industrial Artificial Intelligence. *Engineering*, 7(9), 1224–1230. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.04.023>
- Yin, X., He, Z., Niu, Z., & Li, Z. (Steven). (2018). A hybrid intelligent optimization approach to improving quality for serial multistage and multi-response coal preparation production systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 199–216. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.05.006>

- Zengin, Y., Naktiyok, S., Kaygın, E., Kavak, O., & Topçuoğlu, E. (2021). An Investigation upon Industry 4.0 and Society 5.0 within the Context of Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 13(5), 2682. <https://doi.org/10.3390/su13052682>
- Zhang, J., Qu, X., & Sangaiah, A. K. (2018). A Study of Green Development Mode and Total Factor Productivity of the Food Industry Based on the Industrial Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*, 56(5), 72–78. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700789>
- Zhang, Z., Ming, W., Zhang, Y., Yin, L., Xue, T., Yu, H., Chen, Z., Liao, D., & Zhang, G. (2020). Analyzing sustainable performance on high-precision molding process of 3D ultra-thin glass for smart phone. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120196>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922–1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>
- Zhong, Y., Wang, Z., Yalamanchili, A. V., Yadav, A., Srivatsa, B. N. R., Saripalli, S., & Bukkapatnam, S. T. S. (2020). Image-based flight control of unmanned aerial vehicles (UAVs) for material handling in custom manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 615–621. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.004>
- Zietsch, J., Kulaga, R., Held, H., Herrmann, C., & Thiede, S. (2023). Multi-layer edge resource placement optimization for factories. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02071-3>

## Anexo 1

Tabla 5 Artículos relevantes de la revisión sistemática

N°	Año	Autores	Título
1	2015	Deep, Kamal; Singh, Pardeep K.	Design of robust cellular manufacturing system for dynamic part population considering multiple processing routes using genetic algorithm (Deep and Singh 2015)
2	2015	Schönemann, Malte; Herrmann, Christoph; Greschke, Peter; Thiede, Sebastian	Simulation of matrix-structured manufacturing systems (Schönemann et al. 2015)
3	2015	Despeisse, Mélanie; Ford, Simon	The Role of Additive Manufacturing in Improving Resource Efficiency and Sustainability (Despeisse and Ford 2015)
4	2016	Griffiths, C.A.; Howarth, J.; De Almeida-Rowbotham, G.; Rees, A.; Kerton, R.	A design of experiments approach for the optimisation of energy and waste during the production of parts manufactured by 3D printing (Griffiths et al., 2016)
5	2016	Ford, Simon; Despeisse, Mélanie	Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenge (Ford and Despeisse 2016)
6	2016	Laplume, André O; Petersen, Bent; Pearce, Joshua M	Global value chains from a 3D printing perspective (Laplume et al., 2016)
7	2016	Muthu Monica Mahesh Savalani	Hand of Sustainability in Additive Manufacturing
8	2016	Jovanović, Marko; Zupan, Samo; Prebil, Ivan	Holonic control approach for the "green"-tyre manufacturing system using IEC 61499 standard (Jovanović et al., 2016)
9	2016	Freitas, Dino; Almeida, Henrique A.; Bártolo, Helena; Bártolo, Paulo J.	Sustainability in extrusion-based additive manufacturing technologies (Freitas et al., 2016)
10	2016	Oropallo, William; Piegl, Les A.	Ten challenges in 3D printing (Oropallo & Piegl, 2016)
11	2017	Wu, Dazhong; Liu, Shaopeng; Zhang, Li; Terpenney, Janis; Gao, Robert X.; Kurfess, Thomas; Guzzo, Judith A.	A fog computing-based framework for process monitoring and prognosis in cyber-manufacturing (Wu et al., 2017)
12	2017	Qin, Jian; Liu, Ying; Grosvenor, Roger	A Framework of Energy Consumption Modelling for Additive Manufacturing Using Internet of Things (Qin et al., 2017)
13	2017	Ogbemhe, J.; Mpofo, K.; Tlale, N.S.	Achieving Sustainability in Manufacturing Using Robotic Methodologies (Ogbemhe et al., 2017)
14	2017	Panda, Biranchi; Paul, Suvash Chandra; Hui, Lim Jian; Tay, Yi Wei Daniel; Tan, Ming Jen	Additive manufacturing of geopolymer for sustainable built environment (Panda et al., 2017)
15	2017	Liu, Chao; Cao, Sheng; Tse, Wayne; Xu, Xun	Augmented Reality-assisted Intelligent Window for Cyber-Physical Machine Tools (C. Liu et al., 2017)
16	2017	Ji, Wei; Wang, Lihui	Big data analytics based fault prediction for shop floor scheduling (Ji & Wang, 2017)
17	2017	Adamson, Göran; Wang, Lihui; Moore, Philip	Feature-based control and information framework for adaptive and distributed manufacturing in cyber physical systems (Adamson et al., 2017)
18	2017	Lee, Hyunsoo	Framework and development of fault detection classification using IoT device and cloud environment (H. Lee, 2017)
19	2017	X. Yao; J. Zhou; J. Zhang; C. R. Boër	From Intelligent Manufacturing to Smart Manufacturing for Industry 4.0 Driven by Next Generation Artificial Intelligence and Further On (X. Yao et al., 2017)
20	2017	Nunes, M. Lopes; Pereira, A.C.; Alves, A.C.	Smart products development approaches for Industry 4.0 (Nunes et al., 2017)
21	2017	Mitsutaka Matsumoto Keijiro Masui Shinichi Fukushige Shinsuke Kondoh	Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design (Matsumoto et al., 2017)
22	2017	Adams, Stephen; Malinowski, Michael; Heddy, Gerald; Choo, Benjamin; Beling, Peter A.	The WEAR methodology for prognostics and health management implementation in manufacturing (Adams et al., 2017)
23	2018	Yin, Xianhui; He, Zhen; Niu, Zhanwen; Li, Zhaojun (Steven)	A hybrid intelligent optimization approach to improving quality for serial multistage and multi-response coal preparation production systems (Yin et al., 2018)
24	2018	Zhang, Jiandong; Qu, Xiaoyu; Sangaiah, Arun Kumar	A Study of Green Development Mode and Total Factor Productivity of the Food Industry Based on the Industrial Internet of Things (Zhang et al., 2018)
25	2018	Fisher, Oliver; Watson, Nicholas; Porcu, Laura; Bacon, Darren; Rigley, Martin; Gomes, Rachel L.	Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route (Fisher et al., 2018)
26	2018	Blaya, Fernando; Pedro, Pilar San; Silva, Julia López; D'Amato, Roberto;	Design of an Orthopedic Product by Using Additive Manufacturing Technology: The Arm Splint (Blaya et al., 2018)

		Heras, Enrique Soriano; Juanes, Juan Antonio	
27	2018	Böhner, Johannes; Scholz, Michael; Franke, Jörg; Sauer, Alexander	Integrating digitization technologies into resource efficiency driven industrial learning environments (Böhner et al., 2018)
28	2019	Merayo, D.; Rodríguez-Prieto, A.; Camacho, A.M.	Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0 (Merayo et al., 2019)
29	2019	Lee, Wo Jae; Mendis, Gamini P.; Sutherland, John W.	Development of an Intelligent Tool Condition Monitoring System to Identify Manufacturing Tradeoffs and Optimal Machining Conditions (W. J. Lee et al., 2019)
30	2019	Preez, Anli Du; Oosthuizen, Gert Adriaan	Machine learning in cutting processes as enabler for smart sustainable manufacturing (Preez & Oosthuizen, 2019)
31	2019	Nilashi, Mehrbakhsh; Rupani, Parveen Fatemeh; Rupani, Mohammad Mobin; Kamyab, Hesam; Shao, Weilan; Ahmadi, Hossein; Rashid, Tarik A.; Aljojo, Nahla	Measuring sustainability through ecological sustainability and human sustainability: A machine learning approach (Nilashi et al., 2019)
32	2019	Mao, Shuai; Wang, Bing; Tang, Yang; Qian, Feng	Opportunities and Challenges of Artificial Intelligence for Green Manufacturing in the Process Industry (Mao et al., 2019)
33	2019	Fredriksson, Claes	Sustainability of metal powder additive manufacturing (Fredriksson, 2019)
34	2020	Zhang, Zhen; Ming, Wuyi; Zhang, Yi; Yin, Ling; Xue, Tao; Yu, Haishen; Chen, Zhijun; Liao, Dunming; Zhang, Guojun	Analyzing sustainable performance on high-precision molding process of 3D ultra-thin glass for smart phone (Z. Zhang et al., 2020)
35	2020	DePalma, K.; Walluk, M.R.; Murtaugh, A.; Hilton, J.; McConky, S.; Hilton, B.	Assessment of 3D printing using fused deposition modeling and selective laser sintering for a circular economy (DePalma et al., 2020)
36	2020	Hasan, Mahmud; Starly, Binil	Decentralized cloud manufacturing-as-a-service (CMaaS) platform architecture with configurable digital assets (Hasan & Starly, 2020)
37	2020	Tabaa, Mohamed; Monteiro, Fabrice; Bensag, Hassna; Dandache, Abbas	Green Industrial Internet of Things from a smart industry perspectives (Tabaa et al., 2020)
38	2020	Zhong, Yuhao; Wang, Zimo; Yalamanchili, Aditya V.; Yadav, Aakash; Srivatsa, B.N. Ravi; Saripalli, Srikanth; Bukkapatnam, Satish T.S.	Image-based flight control of unmanned aerial vehicles (UAVs) for material handling in custom manufacturing (Zhong et al., 2020)
39	2020	Peres, Ricardo Silva; Jia, Xiaodong; Lee, Jay; Sun, Keyi; Colombo, Armando Walter; Barata, Jose	Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook (Peres et al., 2020)
40	2020	Kumar, Sandeep; Manjrekar, Vikas; Singh, Vivek; Kumar Lad, Bhupesh	Integrated yet distributed operations planning approach: A next generation manufacturing planning system (S. Kumar et al., 2020)
41	2020	Matos, Vairinhos, Isabel, Salavisa, Edvinsson, Massaro	Knowledge, People, and Digital Transformation: Approaches for a Sustainable Future (Matos et al., 2020)
42	2020	Furstenau, Leonardo B.; Sott, Michele Kremer; Kipper, Liane Mahlmann; Machado, Enio Leandro; Lopez-Robles, Jose Ricardo; Dohan, Michael S.; Cobo, Manuel J.; Zahid, Adnan; Abbasi, Qammer H.; Imran, Muhammad Ali	Link Between Sustainability and Industry 4.0: Trends, Challenges and New Perspectives (Furstenau et al., 2020)
43	2020	Schorr, Sebastian; Möller, Matthias; Heib, Jörg; Bähre, Dirk	Quality Prediction of Drilled and Reamed Bores Based on Torque Measurements and the Machine Learning Method of Random Forest (Schorr, Möller, Heib, & Bähre, 2020)
44	2020	Schorr, Sebastian; Möller, Matthias; Heib, Jörg; Fang, Shiqi; Bähre, Dirk	Quality Prediction of Reamed Bores Based on Process Data and Machine Learning Algorithm: A Contribution to a More Sustainable Manufacturing (Schorr, Möller, Heib, Fang, et al., 2020)
45	2020	Andersen, Daniel Lee; Ashbrook, Christine Sarah Anne; Karlborg, Neil Bang	Significance of big data analytics and the internet of things (IoT) aspects in industrial development, governance and sustainability (Andersen et al., 2020)
46	2020	Liao, Han-Teng; Wang, Zijia	Sustainability and Artificial Intelligence: Necessary, Challenging, and Promising Intersections (Liao & Wang, 2020)
47	2020	Li, Lianhui; Qu, Ting; Liu, Yang; Zhong, Ray Y.; Xu, Guanying; Sun, Hongxia; Gao, Yang; Lei, Bingbing; Mao, Chunlei; Pan, Yanghua; Wang, Fuwei; Ma, Cong	Sustainability Assessment of Intelligent Manufacturing Supported by Digital Twin (L. Li et al., 2020)

48	2020	Dani, Ines; Drossel, Welf-Guntram; Milaev, Nikolaus; Korn, Hannes; Hannemann, Christian; Hohlfeld, Joerg; Wertheim, Rafi	Sustainability of industrial components using additive manufacturing and foam materials (Dani et al., 2020)
49	2021	Majeed, Arfan; Zhang, Yingfeng; Ren, Shan; Lv, Jingxiang; Peng, Tao; Waqar, Saad; Yin, Enhuai	A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing (Majeed et al., 2021)
50	2021	Guo, Hongfei; Chen, Minshi; Mohamed, Khalgui; Qu, Ting; Wang, Siming; Li, Jianke	A digital twin-based flexible cellular manufacturing for optimization of air conditioner line (Guo et al., 2021)
51	2021	Palomares, Iván; Martínez-Cámara, Eugenio; Montes, Rosana; García-Moral, Pablo; Chiachio, Manuel; Chiachio, Juan; Alonso, Sergio; Meler, Francisco J.; Molina, Daniel; Fernández, Bárbara; Moral, Cristina; Marchena, Rosario; De Vargas, Javier Pérez; Herrera, Francisco	A panoramic view and swot analysis of artificial intelligence for achieving the sustainable development goals by 2030: progress and prospects (Palomares et al., 2021)
52	2021	Ferreira Neto, Waldomiro A.; Cavalcante, Cristiano A.V.; Santos, Augusto C.J.; Araújo, Luís H.C.; Alberti, Alexandre R.; Lima, Henrique B.V.	An inspection policy for shredder equipment used in steel production lines considering buffer level and operating time (Ferreira Neto et al., 2021)
53	2021	Susana Ferreira, Santiago Fernandez; Larreina, Jon; Tena, Mikel; Leunda, Josu; Garmendia, Iker; Arnaiz, Aitor	Artificial Intelligence Methodology for Smart and Sustainable Manufacturing Industry (Susana Ferreira et al., 2021)
54	2021	Ashima, Reem; Haleem, Abid; Bahl, Shashi; Javaid, Mohd; Kumar Mahla, Sunil; Singh, Someet	Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0 (Ashima et al., 2021)
55	2021	Jamwal, Anbesh; Agrawal, Rajeev; Sharma, Monica; Kumar, Vikas; Kumar, Sundeep	Developing A sustainability framework for Industry 4.0 (Jamwal et al., 2021)
56	2021	He, Bin; Bai, Kai-Jian	Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing (B. He & Bai, 2021)
57	2021	Glatt, Moritz; Kölsch, Patrick; Siedler, Carina; Langlotz, Pascal; Ehmsen, Svenja; Aurich, Jan C.	Edge-based Digital Twin to trace and ensure sustainability in cross-company production networks (Glatt, Kölsch, et al., 2021)
58	2021	Kim, Goo-Young; Flores-García, Erik; Wiktorsson, Magnus; Do Noh, Sang	Exploring Economic, Environmental, and Social Sustainability Impact of Digital Twin-Based Services for Smart Production Logistics (Kim et al., 2021)
59	2021	Beltrami, Mirjam; Orzes, Guido; Sarkis, Joseph; Sartor, Marco	Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory (Beltrami et al., 2021)
60	2021	Charles, Amal; Salem, Mahmoud; Moshiri, Mandaná; Elkaseer, Ahmed; Scholz, Steffen G.	In-Process Digital Monitoring of Additive Manufacturing: Proposed Machine Learning Approach and Potential Implications on Sustainability (Charles et al., 2021)
61	2021	Yang, Tao; Yi, Xinlei; Lu, Shaowen; Johansson, Karl H.; Chai, Tianyou	Intelligent Manufacturing for the Process Industry Driven by Industrial Artificial Intelligence (Yang et al., 2021)
62	2021	Lugaresi, Giovanni; Alba, Vincenzo Valerio; Matta, Andrea	Lab-scale Models of Manufacturing Systems for Testing Real-time Simulation and Production Control Technologies (Lugaresi et al., 2021)
63	2021	Glatt, Moritz; Sinnwell, Chantal; Yi, Li; Donohoe, Sean; Ravani, Bahram; Aurich, Jan C.	Modeling and implementation of a digital twin of material flows based on physics simulation (Glatt, Sinnwell, et al., 2021)
64	2021	Mrugalska, Beata; Dovramadjiev, Tihomir; Pavlova, Diana; Filchev, Rusko; Stoeva, Mariana; Bozhikova, Violeta; Dimova, Rozalina	Open source systems and 3D computer design applicable in the dental medical engineering Industry 4.0 – sustainable concept (Mrugalska et al., 2021)
65	2021	Jagtap, Sandeep; Garcia-Garcia, Guillermo; Rahimifard, Shahin	Optimisation of the resource efficiency of food manufacturing via the Internet of Things (Jagtap et al., 2021)
66	2021	M. N. Sishi; A. Telukdarie	Supply Chain Energy Sustainability with Artificial Intelligence (M. N. Sishi & A. Telukdarie, 2021)
67	2021	Johri, Prashant; Singh, J.N.; Sharma, Amit; Rastogi, Deependra	Sustainability of Coexistence of Humans and Machines: An Evolution of Industry 5.0 from Industry 4.0 (Johri et al., 2021)
68	2021	Adaloudis, Max; Bonnin Roca, Jaime	Sustainability tradeoffs in the adoption of 3D Concrete Printing in the construction industry (Adaloudis & Bonnin Roca, 2021)
69	2021	Awasthi, Ankita; Saxena, Kuldeep K.; Arun, Vanya	Sustainable and smart metal forming manufacturing process (Awasthi et al., 2021)
70	2021	Isensee, Carmen; Griese, Kai-Michael; Teuteberg, Frank	Sustainable artificial intelligence: A corporate culture perspective (Isensee et al., 2021)

71	2022	Liu, Qing; Liu, Min; Wang, Zichun; Yan, Feng; Ma, Yingyi; Shen, Weiming	A novel intelligent manufacturing mode with human-cyber-physical collaboration and fusion in the non-ferrous metal industry (Q. Liu et al., 2022)
72	2022	Camarinha-Matos, Luis M.; Rocha, Andre Dionisio; Graça, Paula	Collaborative approaches in sustainable and resilient manufacturing (Camarinha-Matos et al., 2022)
73	2022	Dreyfus, Paul-Arthur; Pélissier, Antoine; Psarommatis, Foivos; Kiritsis, Dimitris	Data-based model maintenance in the era of industry 4.0: A methodology (Dreyfus et al., 2022)
74	2022	Lee, Jeongsu; Yang, Chanwoo	Deep neural network and meta-learning-based reactive sputtering with small data sample counts (J. Lee & Yang, 2022)
75	2022	Ma, Shuaiyin; Ding, Wei; Liu, Yang; Ren, Shan; Yang, Haidong	Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing based on information management systems for energy-intensive industries (Ma et al., 2022)
76	2022	Mertes, Jan; Lindenschmitt, Daniel; Amirrezai, Masoud; Tashakor, Nima; Glatt, Moritz; Schellenberger, Christian; Shah, Swati Matwankar; Karnoub, Ali; Hobelsberger, Christopher; Yi, Li; Götz, Stefan; Aurich, Jan C.; Schotten, Hans D.	Evaluation of 5G-capable framework for highly mobile, scalable human-machine interfaces in cyber-physical production systems (Mertes et al., 2022)
77	2022	Wang, Kerry; Dave, Parth; Hanchate, Abhishek; Sagapuram, Dinakar; Natarajan, Gautam; Bukkapatnam, Satish T.S.	Implementing an open-source sensor data ingestion, fusion, and analysis capabilities for smart manufacturing (Wang et al., 2022)
78	2022	Kies, Alexander D.; Krauß, Jonathan; Schmetz, Arno; Schmitt, Robert H.; Brecher, Christian	Interaction of Digital Twins in a Sustainable Battery Cell Production (Kies et al., 2022)
79	2022	He, Zhenglei; Tran, Kim Phuc; Thomassey, Sebastien; Zeng, Xianyi; Xu, Jie; Yi, Changhai	Multi-objective optimization of the textile manufacturing process using deep-Q-network based multi-agent reinforcement learning (Z. He et al., 2022)
80	2022	Qin, Jian; Hu, Fu; Liu, Ying; Witherell, Paul; Wang, Charlie C.L.; Rosen, David W.; Simpson, Timothy W.; Lu, Yan; Tang, Qian	Research and application of machine learning for additive manufacturing (Qin et al., 2022)
81	2022	Asha, P.; Mannepilli, Kasiprasad; Khilar, Rashmita; Subbulakshmi, N.; Dhanalakshmi, R.; Tripathi, Vikas; Mohanavel, V.; Sathyamurthy, Ravishankar; Sudhakar, M.	Role of machine learning in attaining environmental sustainability (Asha et al., 2022)
82	2022	Kumar, Vipin; Pallathadka, Harikumar; Kumar Sharma, Sanjay; Thakar, Chetan M.; Singh, Manisha; Kirana Pallathadka, Laxmi	Role of machine learning in green supply chain management and operations management (V. Kumar et al., 2022)
83	2022	Javaid, Mohd; Haleem, Abid; Pratap Singh, Ravi; Khan, Shahbaz; Suman, Rajiv	Sustainability 4.0 and its applications in the field of manufacturing (Javaid, Haleem, Pratap Singh, et al., 2022)
84	2022	Chourasia, Shubhangi; Tyagi, Ankit; Pandey, S. M.; Walia, R. S.; Murtaza, Qasim	Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges (Chourasia et al., 2022)
85	2022	Tzachor, Asaf; Richards, Catherine E.; Jeen, Scott	Transforming agrifood production systems and supply chains with digital twins (Tzachor et al., 2022)
86	2022	Javaid, Mohd; Haleem, Abid; Singh, Ravi Pratap; Suman, Rajiv; Gonzalez, Ernesto Santibañez	Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability (Javaid, Haleem, Singh, et al., 2022)
87	2022	Ashima, Reem; Haleem, Abid; Javaid, Mohd; Rab, Shanay	Understanding the role and capabilities of Internet of Things-enabled Additive Manufacturing through its application áreas (Ashima et al., 2022)
88	2023	Kumbhar, Mahesh; Ng, Amos H.C.; Bandaru, Sunith	A digital twin based framework for detection, diagnosis, and improvement of throughput bottlenecks (Kumbhar et al., 2023)
89	2023	Jin, Jie; Hu, Junshan; Li, Chengyu; Shi, Zhanghu; Lei, Pei; Tian, Wei	A Digital Twin system of reconfigurable tooling for monitoring and evaluating in aerospace assembly (Jin et al., 2023)
90	2023	Paraschos, Panagiotis D.; Koulinas, Georgios K.; Koulouriotis, Dimitrios E.	A reinforcement learning/ad-hoc planning and scheduling mechanism for flexible and sustainable manufacturing systems (Paraschos et al., 2023)
91	2023	Tsolakis, Naoum; Schumacher, Roman; Dora, Manoj; Kumar, Mukesh	Artificial intelligence and blockchain implementation in supply chains: a pathway to sustainability and data monetisation? (Tsolakis et al., 2023)

92	2023	Katsigiannis, Michail; Pantelidakis, Minas; Mykoniatis, Konstantinos; Purdy, Gregory	Current monitoring for a fused filament fabrication additive manufacturing process using an Internet of Things system (Katsigiannis et al., 2023)
93	2023	Geurtsen, M.; Adan, I.; Atan, Z.	Deep reinforcement learning for optimal planning of assembly line maintenance (Geurtsen et al., 2023)
94	2023	Leal Filho, Walter; Yang, Peter; Eustachio, João Henrique Paulino Pires; Azul, Anabela Marisa; Gellers, Joshua C.; Gielczyk, Agata;	Deploying digitalisation and artificial intelligence in sustainable development research (Leal Filho et al., 2023)
95	2023	David, Joe; Coatanéa, Eric; Lobov, Andrei	Deploying OWL ontologies for semantic mediation of mixed-reality interactions for human–robot collaborative assembly (David et al., 2023)
96	2023	Purcell, Warren; Neubauer, Thomas; Mallinger, Kevin	Digital Twins in agriculture: challenges and opportunities for environmental sustainability (Purcell et al., 2023)
97	2023	Selvaraj, Vignesh; Xu, Zhicheng; Min, Sangkee	Intelligent Operation Monitoring of an Ultra-Precision CNC Machine Tool Using Energy Data (Selvaraj et al., 2023)
98	2023	Kumar, Sachin; Gopi, T.; Harikeerthana, N.; Gupta, Munish Kumar; Gaur, Vedit; Krolczyk, Grzegorz M.; Wu, ChuanSong	Machine learning techniques in additive manufacturing: a state of the art review on design, processes and production control (S. Kumar et al., 2023)
99	2023	Zietsch, Jakob; Kulaga, Rafal; Held, Harald; Herrmann, Christoph; Thiede, Sebastian	Multi-layer edge resource placement optimization for factories (Zietsch et al., 2023)
100	2023	Li, Hanxiang; Alkahtani, Manal E.; Basit, Abdul W.; Elbadawi, Moe; Gaisford, Simon	Optimizing environmental sustainability in pharmaceutical 3D printing through machine learning (H. Li et al., 2023)
101	2023	Martikkala, Antti; Mayanti, Bening; Helo, Petri; Lobov, Andrei; Ituarte, Iñigo Flores	Smart textile waste collection system – Dynamic route optimization with IoT (Martikkala et al., 2023)
102	2023	Attaran, Mohsen; Attaran, Sharmin; Celik, Bilge Gokhan	The impact of digital twins on the evolution of intelligent manufacturing and Industry 4.0 (Attaran et al., 2023)
103	2023	Arnarson, Halldor; Yu, Hao; Olavsbråten, Morten Monland; Bremdal, Bernt Arild; Solvang, Bjørn	Towards smart layout design for a reconfigurable manufacturing system (Arnarson et al., 2023)