

## Implicaciones del modelo industria 4.0 en la agroindustria: revisión sistemática

*Implications the industry 4.0 model at agroindustry: systematic review*

Perfecto Chagua Rodríguez<sup>1</sup>  Larry Oscar Chañi Paucar<sup>1</sup>  Rafael Malpartida Yapias<sup>1</sup>   
Henry Javier Ninahuaman<sup>1</sup>  Rober Anibal Luciano Alipio<sup>1</sup>  Rebeca Salvador Reyes<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Junín, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú

Autor Corresponsal: [pchagua@unaat.edu.pe](mailto:pchagua@unaat.edu.pe)

### RESUMEN

El modelo de economía circular propone una serie de componentes tecnológicos digitales, que son facilitadores claves para la eficiente y sostenible producción de bienes y servicios. Sin embargo, las aplicaciones de este modelo en el sector agroindustrial permanecen en investigaciones progresivas, en algunos casos con limitados estudios en esta área. La metodología empleada siguió los procedimientos de una revisión sistemática de literatura, bajo el enfoque PRISMA. El principal objetivo de la presente revisión es proporcionar una descripción general de las aplicaciones del modelo de economía circular, incidiendo en la introducción y uso de la robótica, sensores inteligentes, técnicas de procesamiento emergente, inteligencia artificial, big data y el internet de las cosas en el sector agroindustrial y agroalimentario. El modelo Industria 4.0, plantea al sector industrial la incorporación de la robótica y otros dispositivos inteligentes para desarrollar procesos automatizados, que permitan mejorar la toma de decisiones y afrontar los cambios y exigencias del mercado. Entre de los principales hallazgos de nuestra exploración se destaca el incremento de estudios sobre inteligencia artificial, tecnología robótica emergente, sensores y softwares avanzados, que se combinan para contribuir a la solución de problemas del sector manufacturero, específicamente en los procesos pre y post productivos, en la gestión de la cadena de suministro y la obtención de productos que demanda el consumidor de estos tiempos. Finalmente, la revisión examina las consideraciones actuales e identifica las principales brechas para el desarrollo de futuras investigaciones.

**Palabras clave:** Industria 4.0; Transformación digital; Fabricación; Productividad; Innovación.

### ABSTRACT

The circular economy model proposes a series of digital technological components, which are key facilitators for the efficient and sustainable production of goods and services. However, the applications of this model in the agroindustrial sector remain in progressive research, in some cases with limited studies in this area. The methodology used followed the procedures of a systematic literature review, under the PRISMA approach. The main objective of the present review is to provide an overview of the applications of the circular economy model, focusing on the introduction and use of robotics, smart sensors, emerging processing techniques, artificial intelligence, big data and the internet of things. in the agro-industrial and agri-food sector. The Industry 4.0 model proposes to the industrial sector the incorporation of robotics and other intelligent devices to develop automated processes, which allow improving decision-making and facing the changes and demands of the market. Among the main findings of our exploration, the increase in studies on artificial intelligence, emerging robotic technology, sensors and advanced software stands out, which combine to contribute to the solution of problems in the manufacturing sector, specifically in pre- and post-production processes. in supply chain management and obtaining products that consumers demand in these times. Finally, the review examines current considerations and identifies the main gaps for the development of future research.

**Key words:** Industry 4.0; Digital transformation; Manufacturing; Productivity; Innovation.

**Como citar:** Chagua, P., Chañi, L., Malpartida, R., Javier, H., Luciano, A., y Salvador, R. (2024) Implicaciones del modelo industria 4.0 en la agroindustria: revisión sistemática. *Revista científica KANYÚ*. 2(1) p. 65- 82. Doi: <https://doi.org/10.61210/kany.v2i1.75>

## INTRODUCCIÓN

En el marco de la Cuarta Revolución Industrial, conocida como Industria 4.0, observamos una notable transformación en el sector manufacturero, impulsada por la digitalización y la innovación (Schwab, 2017). Esta revolución, caracterizada por la combinación de la infraestructura digital, la optimización computacional y la madurez del Big Data, genera ventajas competitivas en mercados tanto nacionales como internacionales (Liao et al., 2017). La aplicación de las metodologías de la Industria 4.0 en la producción demuestra el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad, generando impacto sobre el consumo de energía, la gestión de los efectos ambientales, los sistemas de fabricación digital, además de otros indicadores de sostenibilidad en la industria (Kunkel et al., 2023). La transformación digital, producto de la Industria 4.0 viene innovando los procesos de sostenibilidad económica, así como la eficiencia en la producción y el desarrollo de modelos de negocio, implementando técnicas de diseño digital y demás tendencias tecnológicas (Ghobakhloo, 2020).

La implementación del modelo Industria 4.0 conlleva beneficios sustanciales que pueden contribuir a objetivos de desarrollo sustentable como el hambre cero, la calidad educativa, la generación de energía limpia y asequible, la optimización de la industria, la innovación y la infraestructura, garantizando patrones de producción y consumo sostenible y reforzando las acciones a favor del medio ambiente (Aravindaraj & Rajan Chinna, 2022). En el sector agroindustrial, marcado por una generación considerable de residuos, uso excesivo de agua y energía, inadecuado manejo de desechos de alimentos, altas emisiones de carbono y la descarga de aguas residuales, la Industria 4.0 emerge como una solución prometedora proponiendo alternativas de mitigación asentadas en la aplicación tecnológica (Bronson & Knezevic, 2016).

Las tecnologías de la Industria 4.0 permiten optimizar la eficiencia de los recursos y reducir el impacto ambiental de los sistemas agroalimentarios (Jagtap, Garcia-Garcia, et al., 2021). En este contexto, la concepción de Industria 4.0 va más allá de la implementación tecnológica en los procesos de producción. También implica la innovación del modelo empresarial, el desarrollo digital de proveedores tecnológicos, la creación de ecosistemas industriales y la incorporación de software y hardware, todos ellos elementos esenciales para la transformación digital de los negocios (Marcon et al., 2022). Además, los productores agropecuarios se encuentran en medio de una transición hacia sistemas de producción y comercio más digitalizados y globalizados. La implementación de tecnologías de la Industria 4.0, junto con estrategias de economía circular, está permitiendo asegurar la cadena de suministro, optimizar la productividad y garantizar la sostenibilidad (Kumar et al., 2021). Este proceso de transformación se ve impulsado por los desafíos derivados del cambio climático, el crecimiento demográfico y el agotamiento de los recursos naturales, entre otros. Frente a estos retos, la automatización de maquinaria agrícola, el uso de sensores, datos satelitales remotos e inteligencia artificial, son alternativas promisorias para mejorar el monitoreo de cultivos y agua, así como la trazabilidad de los productos agroalimentarios (Ben Ayed & Hanana, 2021). No obstante, para que esta evolución tecnológica sea efectiva, es necesario implementar estrategias, redes, procedimientos e infraestructura de innovación que favorezcan al enfoque organizativo propicio para la transformación digital de la industria alimentaria (Wolfert et al., 2023). En este sentido, se destaca la importancia de la transformación de la tecnología de la información y la comunicación en los sistemas de producción para optimizar la cadena de suministro de alimentos y los canales de producción, distribución y comercialización agroalimentaria (Uttama, 2021; Miranda-Ackerman & Colín-Chávez, 2019).

Dicho esto, a pesar del potencial significativo de la Industria 4.0 en la agroindustria, todavía falta una comprensión sistemática de sus implicaciones. Por tanto, este trabajo tiene como objetivo realizar una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) para obtener una visión integrada de las posibilidades que ofrece la Industria 4.0 en el sector agroindustrial, identificar los beneficios y desafíos asociados a su aplicación, y proporcionar recomendaciones para futuras investigaciones y prácticas en el sector agroindustrial.

## METODOLOGÍA

La Revisión Sistemática de Literatura - SRL se realizó siguiendo los lineamientos de la declaración “Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis” (PRISMA) (Moher et al., 2009), para revisiones sistemáticas y metanálisis, asegurando precisión, transparencia e integridad metodológica (Campbell et al., 2020). Para la identificación de los estudios relevantes, se realizó una búsqueda avanzada en la base de datos Sciencedirect. Las palabras clave utilizadas fueron “Industria 4.0” (“industry”) y “agroindustria” (“agroindustry”), generándose una ecuación de búsqueda “industry and 4.0 and agroindustry”. El alcance temporal para la selección de los estudios comprendió el periodo de 2018 a 2023. Esta revisión incluye tanto estudios originales como revisiones de la literatura y metanálisis. Para determinar la relevancia de los estudios, se excluyeron aquellos que no presentaban una relación explícita entre la Industria 4.0 y la agroindustria. De igual forma, se eliminaron los artículos duplicados, quedando únicamente los estudios que aportaban contenido relevante desde un enfoque descriptivo y cualitativo. En cuanto a las revisiones de literatura incluidas en el estudio, se realizaron esfuerzos para evitar el doble conteo de los estudios que ya habían sido identificados de manera independiente. Cada estudio incluido en una revisión de la literatura se comparó con la lista de estudios seleccionados a partir de la búsqueda directa. En caso de que un estudio ya estuviera incluido, se contabilizaba solo una vez en nuestro análisis. De este modo, se garantiza que cada estudio se cuenta solo una vez en la revisión sistemática, evitando así la sobrerrepresentación de cualquier hallazgo particular.

El diagrama de flujo que resume el proceso de selección de los estudios es ilustrado en la Figura 1. Este gráfico proporciona una descripción visual clara y concisa del proceso de identificación, cribado, elegibilidad y finalmente, inclusión de los estudios en la presente RSL. Al final del proceso de filtración, fueron seleccionados 32 artículos para su análisis detallado.



**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA para la selección de artículos de la RSL

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis detallado de los artículos seleccionados.

### Análisis descriptivo de artículos seleccionados

La industria alimentaria y no alimentaria se sirven de los animales y las plantas para realizar sus operaciones, enfatizando las leyes naturales y la estructura de la vida. Para ello, es necesario demostrar agilidad en cada proceso para hacer frente a las exigencias actuales (Ali et al., 2023), esto es producción inteligente. Las herramientas actuales permiten hacerlo sin problemas, pues el internet y las redes electrónicas junto a la automatización revolucionan la industria a niveles de vanguardia. Su verdadero valor consiste en su carácter multidisciplinario (Hassoun, Jagtap, Trollman, et al., 2023).

Un factor importante y componente de la industria 4.0 es la Inteligencia artificial (IA) que permite a la máquina, trabajar y actuar simulando a un humano, provee de elementos de decisión más estructurados de tal forma que garantiza las exigencias de cuidado sanitario, ejecuta y optimiza procesos repetitivos y permite la percepción de riesgos potenciales en cualquier parte del proceso. El beneficio máximo de esta innovación sería la ventaja competitiva al concebir nuevas formas de hacer las cosas (Paraginski, 2014). Ejemplos concretos podrían ser la aplicación de IA como sistema de monitoreo inteligente utilizando la Identificación por Radio Frecuencia (RFID) o incluir la tecnología blockchain para la identificación de mercados convenientes a nuestra propuesta de producción o para la predicción de riesgos ambientales en producción primaria, las opciones son infinitas y la era IA está en este tiempo (Monteiro & Barata, 2021).

Por su parte Abbate et al. (2023) coinciden con Schöggl et al. (2023) al proporcionar el significado de la industria 4.0 en agroindustria a un futuro próximo, sugieren de forma categórica a las empresas hacer rediseño de modelos de negocio hacia la priorización de valor compartido a largo plazo con el fin de mejorar la eficiencia y rentabilidad. Por otro, lado propone implementar las tecnologías digitales respecto a la calidad del suelo y del aire, por lo que apunta a minimizar los usos del recurso natural. Así como, evitar al máximo los contaminantes y la emisión de dióxido de carbono y otros gases causantes del efecto invernadero, además indica que adoptar estas medidas provee de ventajas en lo económico, ambiental y social en periodos de plazos largos.

Así mismo Schöggl et al. (2023) analizan los estados actuales y demuestran que mientras más grande sea la empresa, mejor implementa las tecnologías digitales a sus procesos. También refieren que a pesar que la industria de alimentos la adoptó mínimamente, junto a la industria textil, es bueno indicar que los sectores que tuvieron mayormente lo adoptaron fueron las industrias de la construcción, electrónica, metalurgia y maquinaria. Al analizar las aplicaciones más resaltantes y relacionadas con la agroindustria se encuentra al mantenimiento predictivo, tratamiento de datos de manufactura, cadena de suministro, trazabilidad y procesos relacionados a las áreas complementarias al campo agroindustrial como la gestión de inventarios y provisión de la demanda.

Por su parte Castelo-Branco et al. (2023), indica que las empresas bajo el paradigma de industria 4.0 centrado en la infraestructura, se benefician de la interconectividad Machine to Machine (M2M) y Machine People (M2P). También mencionan algunos

campos de investigación relevantes, estos incluyen la identificación de la adaptación al paradigma 4.0 junto a los modelos de negocio y en acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible, como identificar los elementos causantes de la amplia brecha entre países. A esto, añaden (Virmani et al., 2023) que hay relación entre la intención y la razón en la economía de los países emergentes, implicando nuevos resultados de reducción de la brecha a mediano plazo.

Pero la adopción de la industria 4.0 puede ser universalizada, Wolfert et al. (2023) proponen integrar los ecosistemas organizaciones digitales al área agroalimentario y dicta algunos principios de diseño para su complementación y mejor integralidad, sus propuestas indican que las empresas capaces de este gran reto deben animar la colaboración multidisciplinar e inclusión de socios estratégicos, apoyado por su arquitectura e infraestructura común. Además de incluir a los usuarios como informantes de resultados; es necesario también orientarse a enfoques ágiles para la planificación y gestión dinámica desde el diseño, implementación, pruebas y evaluación, y tener claro los costos y beneficios y la forma de repartirlos con las partes interesadas o reasignación de presupuestos en el momento y situación necesaria.

**Tabla 1.** Estudios actuales sobre Industria 4.0 aplicado al sector alimentario

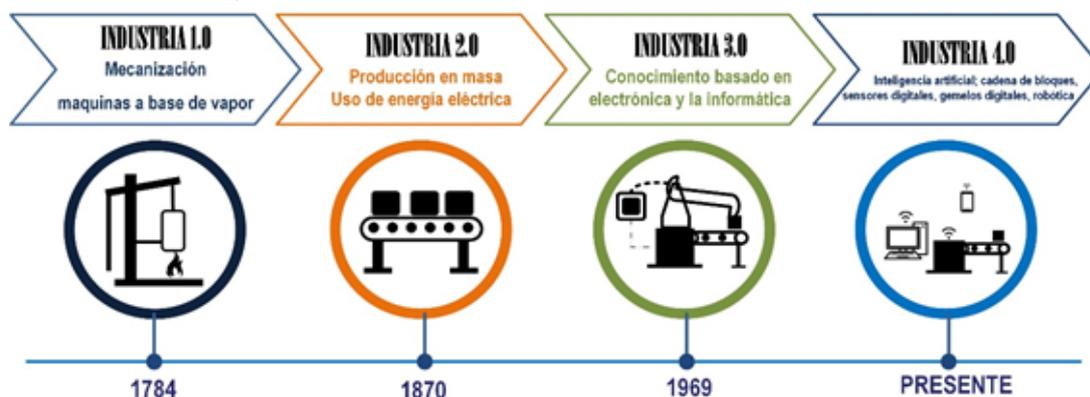
Nº	Título	Revista / Base de dato	Año	Enfoque principal	Referencia
1	Industry 4.0 and energy in manufacturing sectors in China	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2023	Digitalización, sostenibilidad y Robótica	(Kunkel et al., 2023)
2	Food processing 4.0: Current and future developments spurred by the fourth industrial revolution.	Food Control / Scopus	2023	Inteligencia artificial y Procesamiento de alimentos 4.0.	(Hassoun, Jagtap, Trollman, et al., 2023)
3	The digital and sustainable transition of the agri-food sector.	Technological Forecasting and Social Change / Scopus	2023	Digitalización, sustentabilidad y desarrollo sostenible de la industria agroalimentaria.	(Abbate et al., 2023)
4	Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector.	Sustainable Production and Consumption / Scopus	2023	Industria 4.0, producción sostenible y economía circular.	(Schöggl et al., 2023)
5	Digital innovation ecosystems in agri-food: design principles and organizational framework.	Agricultural Systems / Scopus	2023	Agricultura y transformación digital, infraestructura y organización de innovación, ecosistemas empresariales.	(Wolfert et al., 2023)
6	Assessing the European divide through the country/industry dichotomy.	Computers & Industrial Engineering / Scopus	2023	Industria 4.0, madurez de big data y aplicaciones de Industria 4.0.	(Castelo-Branco et al., 2023)
7	Adoption of industry 4.0 evidence in emerging economy: Behavioral reasoning theory perspective.	Technological Forecasting and Social Change / Scopus	2023	Industria 4.0, razonamiento conductual de industrias manufactureras.	(Virmani et al., 2023)

8	Developing an industry 4.0 readiness model using fuzzy cognitive maps approach.	International Journal of Production Economics / Scopus	2023	Cuarta revolución industrial, digitalización de la fabricación y desarrollo de sus negocios y operaciones.	(Monshizadeh et al., 2023)
9	The role of Industry 4.0 in developing resilience for manufacturing companies during COVID-19.	International Journal of Production Economics / Scopus	2023	Industria 4.0, rendimiento de fabricación, resiliencia al COVID-19.	(Bianco et al., 2023)
10	Adoption of information and digital technologies for sustainable smart manufacturing systems for industry 4.0 in small, medium, and micro enterprises (SMMEs)	Technological Forecasting and Social Change / Scopus	2023	Industria 4.0, sistema de fabricación, tecnologías informáticas y digitales, MIPYMES.	(Yang et al., 2023)
11	Designing business models for Industry 4.0 technologies provision: Changes in business dimensions through digital transformation.	Technological Forecasting and Social Change / Scopus	2022	Transformación digital e innovación del modelo de negocio, Industria 4.0.	(Marcon et al., 2022)
12	Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0.	Technological Forecasting and Social Change / Scopus	2022	Agricultura 4.0, Industria 4.0, trazabilidad de alimentos, internet de las cosas, procesos de negocio.	(Latino et al., 2022)
13	Selection criteria for planning cold food chain traceability technology enabling industry 4.0.	Procedia Computer Science / Scopus	2022	Industria 4.0, cadena de suministro de alimentos fríos, tecnologías de trazabilidad.	(Islam et al., 2022)
14	Food Industry 4.0: Opportunities for a digital future.	Food Engineering Innovations Across the Food Supply Chain / Scopus	2022	Producción de alimentos, cadena de suministro, cadena de valor, Industria 4.0.	(Bakalis et al., 2022)
15	Future skills requirements of the food sector emerging with industry 4.0.	Innovation Strategies in the Food Industry / Scopus	2022	Industria de alimentos, Industria 4.0, digitalización.	(Goti et al., 2022)
16	Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector.	Journal of Food Quality / Scopus	2021	Inteligencia artificial y automatización en el sector agroalimentario.	(Ben Ayed & Hanana, 2021)
17	A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management.	International Journal of Production Economics / Scopus	2021	Industria 4.0, operaciones inteligentes y gestión de la cadena de suministro.	(Caiado et al., 2021)
18	Industry 4.0 Applied to Food.	Sustainable Food Processing and Engineering Challenges / Scopus	2021	Industria 4.0, tecnologías de revolución industrial y digitalización.	(Bigliardi, 2021)
19	State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector	Procedia Manufacturing / Scopus	2017	Industria 4.0, industria alimentos, facilitadores tecnológicos.	(Luque et al., 2017)

## Evolución de la Industria 4.0

La industria 4.0 se entiende como la cuarta revolución industrial, de hecho, la primera revolución fue en 1784 cuando el hombre logró demostrar que podía fabricar y utilizar el motor de energía hidráulica y de vapor, esto generó grandes cambios en la producción y forma de vida. Posteriormente en 1870 el descubrimiento de la energía eléctrica para la producción en masa, generó la segunda revolución industrial. Este gran acontecimiento permitió contar con sistemas de procesamiento eficientes y sostenibles, de ese modo se potenció la alimentación de maquinarias y equipos, la iluminación, la ventilación, la calefacción y la refrigeración entre otros (Vaidya et al., 2018; Zangara et al., 2023). Posteriormente en 1970 la tercera revolución industrial fue catalizada por la creación y aplicación de los controladores lógicos programables (PLC) y las tecnologías de la información (IT). Estos lograron sistemas automatizados, estos controlaron los procesos de fabricación al incluirse en máquinas, dispositivos robóticos y toda actividad permitiendo lograr alta confiabilidad, facilidad de programación y diagnóstico de fallas del proceso (Swenja et al., 2022). La Industria Agroalimentaria desde el año 2015 en adelante utiliza el paradigma de industria 4.0 principalmente orientado a la fabricación y cadena de suministro inteligente. Los clientes muestran tendencia lineal de preferencia por los productos y servicios inteligentes, aunque los primeros artículos se refieren desde el 2011 referidos a manufactura y trabajo inteligente, desde esos estudios se fue integrando el conocido internet de las cosas Meindl et al. (2021). El carácter evolutivo fue marcado por las expectativas de los beneficios, la competencia intensiva, las normas y leyes, el acceso al financiamiento, la demanda, el mercado laboral y la actitud frente a las nuevas tecnologías (Klingenberg et al., 2022).

En retrospectiva, el desarrollo generado por las revoluciones industriales refiere innovaciones de sus componentes tecnológicos (Fig. 2), propiciando aplicaciones en los procesos del sector productor de alimentos.



**Figura 2.** Desarrollo tecnológico de las cuatro revoluciones industriales. Adaptado de (Hassoun, Jagtap, Trollman, et al., 2023).

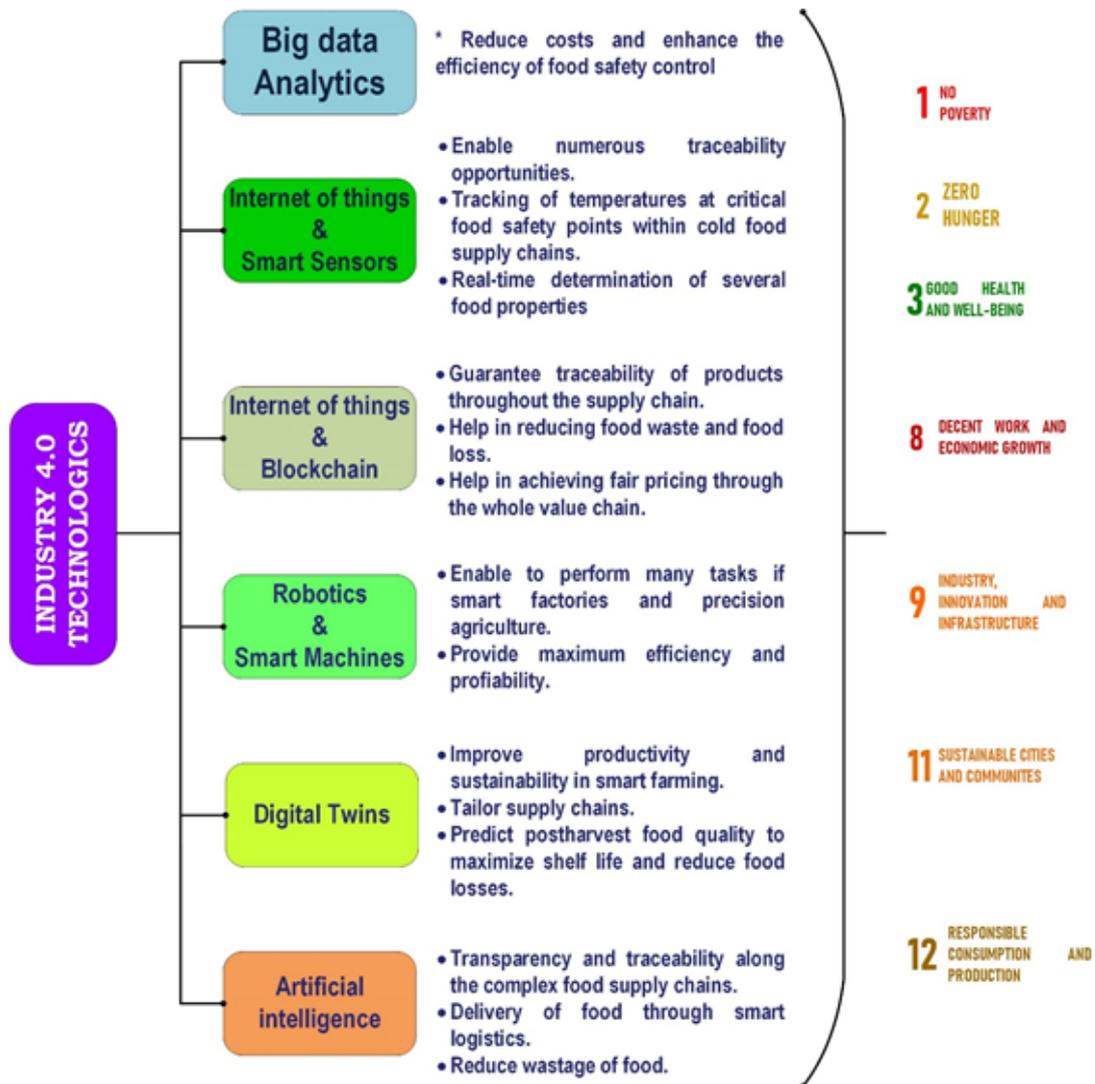
### Industria 4.0 en el sector alimentario

El modelo Industria 4.0 para el sector alimentario aun es limitado, los actuales desafíos de esta tecnología buscan desarrollar los sectores de producción, proponiendo soluciones innovadoras para contribuir a la sostenibilidad alimentaria y agrícola. La asociación entre la tecnología verde dentro de la producción agroindustrial (extracción, procesamiento, conservación) y las variables de la Industria 4.0 (robótica, inteligencia artificial, big data, blockchain e internet de las cosas) generan alternativas para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Hassoun et al., 2022).

La industria alimentaria afronta dos constantes evoluciones: la implementación tecnológica de la industria 4.0 y la sostenibilidad. La inserción de los componentes de la Industria 4.0 en el sector agroindustrial todavía tiene poca presencia, aunque en los años recientes se han incrementado, el efecto en la sostenibilidad ambiental empresarial es el factor más estudiado frente a las variables sociales y económicas (Stefanini & Vignali, 2022). La incorporación de inteligencia artificial a los sectores productivos a través de robots colaborativos, pequeños y flexibles, generan grandes oportunidades para el diseño y desarrollo de nuevos procesos, vinculando la flexibilidad humana con la eficiencia de la automatización. La implementación tecnológica ha demostrado su contribución en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, estableciendo layouts automatizados capaces de reemplazar tareas manuales de poco valor agregado, los cuales hacen favorable su factibilidad técnica y económica (Accorsi et al., 2019). El concepto “Food Quality 4.0” hace referencia al avance vertiginoso de una gama de tecnológicas digitales y técnicas innovadoras de producción, impulsadas por el enfoque de la Industria 4.0, con el objetivo de digitalizar y automatizar el análisis y control de alimentos utilizando métodos productivos más avanzadas en el sector industrial, que vincula también procesos no destructivos, tecnologías óhmicas y herramientas bioinformáticas (Hassoun, Jagtap, Garcia-Garcia, et al., 2023). Muchas organizaciones del sector agroalimentario se han visto obligados a implementar procesos innovadores basados en el paradigma Industria 4.0 para afrontar crisis mundiales como el ocasionado por el COVID-19, la implementación de este modelo busca solucionar problemas de abastecimiento y cadena de suministro de alimentos, limitaciones en los sistemas de fabricación, la transición tecnológica de agronegocios, el desafío de la sostenibilidad y el problema del hambre mundial (Mirabelli et al., 2023; Bigliardi et al., 2023). La industria alimentaria es de gran importancia en el desarrollo del Producto bruto interno (PBI) y la seguridad alimentaria. Sin embargo, exhibe serios problemas y retos de trazabilidad, transporte y envasado de los alimentos, los cuales son tratados eficientemente por las tecnologías de internet de las cosas (IoT), la cadena de bloques y la ciberseguridad en un marco de fábricas inteligentes, esta tendencia permite mejorar los controles, la detección eficiente y la optimización de los datos provenientes en tiempo real, y mantener una producción y monitoreo eficientes (Dadhaneeya et al., 2023; Lahane et al., 2023). La industria 4.0 propone desafíos de prospectiva a nivel social, ambiental y económico (Stefanini & Vignali, 2022). Actualmente, se viene trabajando en el campo de la realidad aumentada con amplia aplicación como en la asistencia a lugares físicos a través de una plataforma de interacción virtual. Los beneficios radican en disminuir los riesgos asociados a la manipulación, mayores tareas en cantidad y calidad, mayor transparencia y monitoreo con acciones en tiempo real (Jagtap, Saxena, et al., 2021). Aunque propone los retos de operatividad que deberá sortear con resiliencia y agilidad para garantizar un producto de calidad y competitivo (Bakalis et al., 2022).

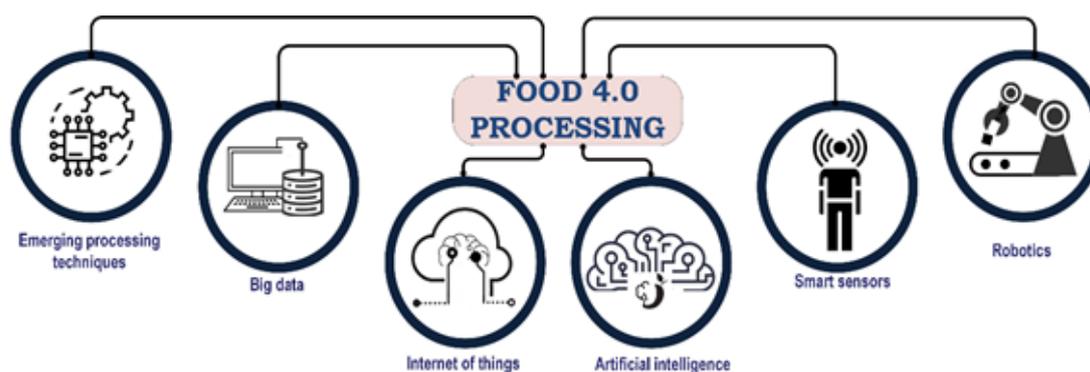
### **Componentes de la Industria 4.0 para el sector alimentario**

La concepción del paradigma “Desarrollo de alimentos 4.0” expresa el proceso para la obtención de alimentos en la era digital, aprovechando las innovaciones tecnológicas de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0), para mejorar la calidad y seguridad de los productos alimentarios, contribuyendo en la reducción de costos y tiempos de producción, en el uso eficiente de energía y recursos, así como en la disminución de residuos de alimentos (Hassoun, Jagtap, Trollman, et al., 2023).



**Figura 3.** Tecnología Industria 4.0 en los sectores alimentarios. Adaptado de (Hassoun et al., 2022)

El procesamiento de alimentos 4.0 contempla el uso de la robótica, sensores inteligentes, técnicas de procesamiento emergente, inteligencia artificial, big data y el internet de las cosas (Fig. 3). Según Hassoun et al. (2023) mencionan que estas tecnologías emergentes son de suma importancia para satisfacer las demandas de los consumidores de alimentos mínimamente procesados con alta calidad nutricional y sensorial, un ejemplo de este modelo son los sensores inteligentes aplicados en el envasado de alimentos, aportando una alternativa potencial para mejorar la calidad y seguridad alimentaria y comunicar información útil a los consumidores.



**Figura 4.** Elementos para el procesamiento de alimentos 4.0. Adaptado de (Hassoun, Jagtap, Trollman, et al., 2023).

La sociedad de la información permite acceder a datos mundiales (Big Data) de cada situación, estos datos históricos analizados mediante inteligencia artificial convenientemente permiten hacer pronósticos y gestionar las interrupciones de la seguridad alimentaria por factores de cambio climático. Los datos generados permiten aprovechar los modelos predictivos de siembra, producción y cosecha, además de evaluar los impactos por la volatilidad de los precios de materias primas y alimentos terminados, con enfoques de evaluación de riesgos de la cadena de suministro mundial (Talari et al., 2022). En otras palabras, el Big data y la inteligencia artificial son herramientas para la mejor toma de decisiones (Tamasiga et al., 2023).

El componente Internet de las cosas (IoT) incluye como uso en la agroindustria los sistemas de monitoreo de riego, cuya virtud es el uso eficiente del agua, la administración de fertilizantes y cuidado en dosificación y diseño de oportunidades biológicos, la detección de enfermedades de cultivos y actividad inmediata de controles, la vigilancia de rendimiento, calidad, procesamiento y supervisión logística. Además del pronóstico de cosecha, estos son implementados también en el monitoreo de condiciones climáticas y hasta para la detección de incendios en lugares vulnerables, las posibilidades múltiples contienen sensores que detecten parámetros del suelo, humedad, nitrato, pH, conductividad eléctrica, CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad, luz, estación meteorológica, nivel de agua, ganado, enfermedades de las plantas, humo, llama, dispositivos portátiles flexibles entre otros (Morchid et al., 2023; Nagarajan et al., 2022).

Por último es necesario mencionar que los Robots en la industria alimentaria ofrecen múltiples beneficios que aún no están siendo aprovechados, por ejemplo en alivio de las condiciones ambientales peligrosas, y la reducción de los tipos de estrés físico y mental del trabajador, alta precisión para los movimientos monótonos, reducción de errores, aceleración de la producción y minimización de los costos de producción (Becker et al., 2023; Derossi et al., 2023; Husaini & Sohail, 2023).

### Principales hallazgos

El auge de la Industria 4.0 en la agroindustria está evidenciando un cambio significativo en la manera en que se procesan, almacenan y distribuyen los alimentos. Esta revisión sistemática destaca la confluencia entre la Industria 4.0 y la sostenibilidad alimentaria y agrícola. La inteligencia artificial, la robótica y el análisis masivo de datos (big data) están a la vanguardia de esta revolución, tal como indican Hassoun et al. (2023) y Abbate et al. (2023). Sin embargo, uno de los hallazgos clave es que la adopción de estas tecnologías sigue siendo limitada, en particular en el contexto de

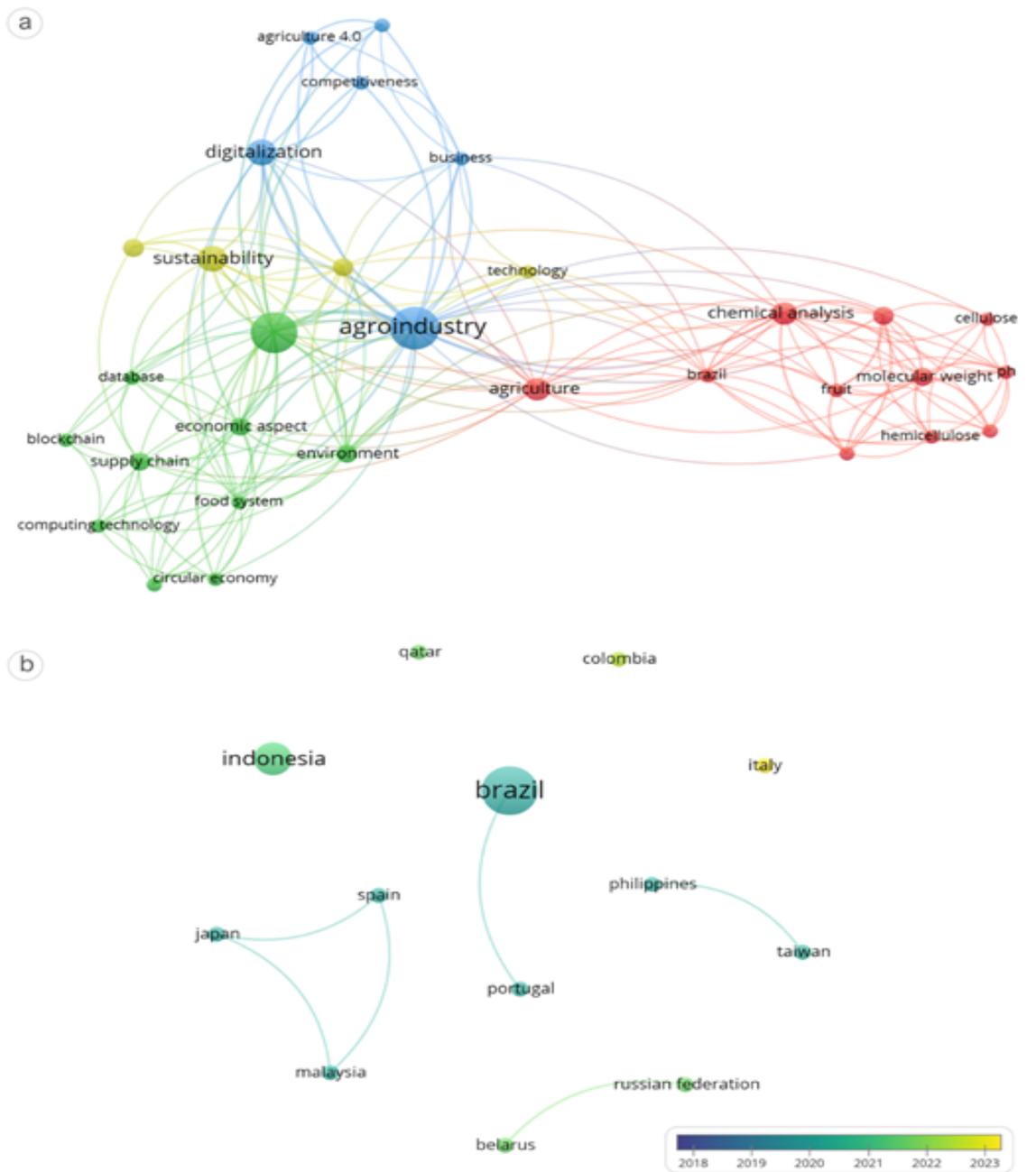
los países en desarrollo. Las investigaciones de Virmani et al. (2023) y Castelo-Branco et al. (2023) respaldan este hallazgo, destacando una desigual adopción de las tecnologías de Industria 4.0 entre diferentes regiones y sectores.

Comparativamente, otras revisiones, como la de Stefanini & Vignali (2022), también han abordado la relación entre la Industria 4.0 y la sostenibilidad en el sector agroindustrial. Si bien sus hallazgos subrayan el impacto positivo de la Industria 4.0 en la sostenibilidad ambiental, nuestra revisión amplía el enfoque al analizar también las variables sociales y económicas. En particular, destacamos la necesidad de considerar cómo estas tecnologías pueden impactar en la equidad, la justicia y el acceso a los alimentos. Otro desafío identificado es la necesidad de formación y desarrollo de habilidades para la adopción de estas tecnologías. Goti et al. (2022) han señalado la importancia de identificar y abordar las habilidades futuras requeridas en el sector alimentario, particularmente en relación con la Industria 4.0. En cuanto a la resiliencia frente a crisis globales como la pandemia de COVID-19, varios estudios, incluyendo el de Bianco et al. (2023), han evidenciado que la Industria 4.0 ha desempeñado un papel fundamental en la adaptación y supervivencia de las empresas agroalimentarias, aportando soluciones a problemas de abastecimiento y cadena de suministro.

### Desafíos actuales y perspectivas futuras

El panorama de la agroindustria atraviesa una evolución dinámica, caracterizada por la rápida adopción de tecnologías emergentes y la transición hacia prácticas más sostenibles y eficientes. Mirando hacia el futuro, es esencial comprender cómo las tendencias actuales y los avances recientes en la Industria 4.0 pueden ser capitalizados para fomentar la innovación y enfrentar los desafíos globales. Esta comprensión se vuelve más pertinente al examinar los patrones y dinámicas que surgen de los análisis bibliométricos, los cuales nos permiten prever y esculpir los caminos futuros de la investigación y la implementación en la agroindustria.

El análisis de los datos bibliométricos derivados de la búsqueda de 'Industria 4.0' y 'agroindustria' muestra que la Figura 5(a) configura clústeres de palabras clave significativos. Estos clústeres reflejan una interacción profunda entre 'digitalización', 'sostenibilidad', 'tecnología' y 'cadena de suministro', destacando el cruce de la innovación tecnológica con la urgencia de prácticas sostenibles y resilientes. Sin embargo, se percibe una notable brecha en la investigación y aplicación de estas temáticas en países latinoamericanos, a pesar de su rica biodiversidad y la solidez de su sector manufacturero, como se evidencia en la Figura 5(b). Estos países albergan un potencial significativo para beneficiarse del despliegue de tecnologías de la Industria 4.0, las cuales pueden incrementar la eficiencia y competitividad de las empresas, y ofrecer soluciones sostenibles ante los retos medioambientales y de suministro. América Latina, en particular, posee una oportunidad única para liderar la implementación de prácticas agroindustriales innovadoras, dada su diversidad climática y de recursos naturales. La adopción de la Industria 4.0 podría mejorar sustancialmente la gestión de la cadena de suministro, la trazabilidad de los productos y la capacidad de adaptación a los cambios del mercado.



**Figura 5.** Diagrama neuronal de (a) Incidencia de palabras clave y (b) Países en publicaciones científicas indexadas en SCOPUS (2018-2023) sobre Industria 4.0 en la Agroindustria\*

\*Grafico generado a través de VOSviewer version 1.6.20, con los resultados de la búsqueda en SCOPUS realizada en diciembre de 2023, usando la ecuación (“Industry 4.0” AND Agroindustry)

Para avanzar hacia este futuro prometedor, las investigaciones futuras deberían centrarse en:

- Adaptación de Tecnologías a la Diversidad de Materias Primas: Explorar cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden ser adaptadas a la diversa gama de materias primas disponibles en América Latina, optimizando su uso y procesamiento.
- Adopción tecnológica en países en desarrollo: examinar las barreras y facilitadores

específicos que enfrentan las empresas agroalimentarias en los países en desarrollo al adoptar tecnologías de Industria 4.0.

- **Fortalecimiento de Empresas Manufactureras:** Estudiar la implementación de estas tecnologías en las empresas manufactureras locales para mejorar la competitividad y la eficiencia operativa.
- **Desarrollo Sostenible:** Investigar cómo la integración de la sostenibilidad y la economía circular en la agroindustria puede conducir a prácticas más respetuosas con el medio ambiente.
- **Impacto Socioeconómico:** Investigar cómo la implementación de la Industria 4.0 en la agroindustria puede influir en la equidad y justicia, especialmente en términos de empleo, acceso a alimentos y distribución de ingresos.
- **Resiliencia a crisis globales:** Profundizar en cómo la Industria 4.0 puede mejorar la resiliencia del sector agroalimentario frente a futuras crisis globales.
- **Interconexión y big data:** Investigar cómo el análisis de grandes volúmenes de datos y la conectividad pueden ser mejor utilizados para optimizar la cadena de suministro agroalimentaria.
- **Tecnologías emergentes:** Explorar las aplicaciones y desafíos de tecnologías emergentes, como la realidad virtual y aumentada, Blockchain y el Internet de las Cosas (IoT) en el sector agroindustrial.
- **Evaluación de Ciclo de vida y sostenibilidad:** analizar cómo la industria 4.0 puede ser utilizada para desarrollar modelos más precisos de evaluación del ciclo de vida, reduciendo el impacto ambiental de la producción agrícola.
- **Robotización y automatización:** Examinar las implicaciones éticas, económicas y sociales de la creciente robotización y automatización en la producción y procesamiento agroalimentario.
- **Integración de cadenas de valor:** Investigar cómo las tecnologías de Industria 4.0 pueden ser usadas para crear cadenas de valor más integradas, conectando productores, distribuidores y consumidores en plataformas colaborativas.
- **Seguridad alimentaria y trazabilidad:** Evaluar el papel de la Industria 4.0 en mejorar la trazabilidad de productos agroalimentarios, y cómo esto puede repercutir en la seguridad y calidad alimentaria.

Estas áreas no solo representan oportunidades para el avance del conocimiento científico, sino también para el desarrollo de soluciones prácticas que aborden los desafíos actuales y futuros de la agroindustria en el contexto de la Industria 4.0. Es imperativo que investigadores, políticos y profesionales trabajen conjuntamente para maximizar los beneficios y mitigar los desafíos asociados con esta revolución tecnológica.

## **CONCLUSIONES**

Algunos estudios reportan el efecto de la Industria 4.0 en el sector manufactura sobre aspectos de gestión, eficiencia y seguridad de productos y procesos, productividad, ecoeficiencia y la reducción de costos de fabricación.

La deficiente innovación en los sistemas de producción, la manufactura tradicional en ausencia de tecnología se debe muchas veces al débil vínculo de la triple hélice (in-

dustria, academia y gobierno) son los principales retos de la Industria 4.0.

De la revisión se destaca la importancia del enfoque de la Industria 4.0 para lograr la estabilidad y eficiencia de producción de la industria alimentaria a partir de la aplicación de tecnologías innovadoras y el uso de la bioinformática para afrontar problemas de fabricación en tiempos de crisis como el sufrido por el COVID-19, proponiéndose alternativas para que empresas sean más resistentes y estén preparadas para afrontar futuros desafíos y crisis.

## REFERENCIAS

Abbate, S., Centobelli, P., & Cerchione, R. (2023). The digital and sustainable transition of the agri-food sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122222. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.122222>

Accorsi, R., Tufano, A., Gallo, A., Galizia, F. G., Cocchi, G., Ronzoni, M., Abbate, A., & Manzini, R. (2019). An application of collaborative robots in a food production facility. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.044>

Ali, P. R., Machfud, M., Sukardi, S., Noor, E., & Purnomo, D. (2023). Indonesian agroindustry business agility: Enablers and challenges in the poultry industry based on ISM model. *Heliyon*, 9(6), e16808. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16808>

Aravindaraj, K., & Rajan Chinna, P. (2022). A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 100072. <https://doi.org/10.1016/J.CLSCN.2022.100072>

Bakalis, S., Gerogiorgis, D., Argyropoulos, D., & Emmanoulidis, C. (2022). Food Industry 4.0: Opportunities for a digital future. *Food Engineering Innovations Across the Food Supply Chain*, 357–368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821292-9.00011-X>

Becker, D., Schmitt, C., Bovetto, L., Rauh, C., McHardy, C., & Hartmann, C. (2023). Optimization of complex food formulations using robotics and active learning. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103232. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2022.103232>

Ben Ayed, R., & Hanana, M. (2021). Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector. *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5584754>

Bianco, D., Bueno, A., Godinho Filho, M., Latan, H., Miller Devós Ganga, G., Frank, A. G., & Chiappetta Jabbour, C. J. (2023). The role of Industry 4.0 in developing resilience for manufacturing companies during COVID-19. *International Journal of Production Economics*, 256, 108728. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2022.108728>

Bigliardi, B. (2021). Industry 4.0 Applied to Food. *Sustainable Food Processing and Engineering Challenges*, 1–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822714-5.00001-2>

Bigliardi, B., Bottani, E., Casella, G., Filippelli, S., Pini, B., & Gianatti, E. (2023). Industry 4.0 in the agrifood supply chain: a review. *Procedia Computer Science*, 217, 1755–1764. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.375>

Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big Data in food and agriculture. <http://Dx.Doi.Org/10.1177/2053951716648174>, 3(1). <https://doi.org/10.1177/2053951716648174>

Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Gavião, L. O., Ivson, P., Nascimento, D. L. de M., & Gar-

za-Reyes, J. A. (2021). A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 231, 107883. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2020.107883>

Campbell, M., McKenzie, J. E., Sowden, A., Katikireddi, S. V., Brennan, S. E., Ellis, S., Hartmann-Boyce, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: reporting guideline. *BMJ*, 368. <https://doi.org/10.1136/BMJ.L6890>

Castelo-Branco, I., Amaro-Henriques, M., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2023). Assessing the Industry 4.0 European divide through the country/industry dichotomy. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108925. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108925>

Dadhaneeya, H., Nema, P. K., & Arora, V. K. (2023). Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 139, 104109. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2023.07.006>

Derossi, A., Di Palma, E., Moses, J. A., Santhoshkumar, P., Caporizzi, R., & Severini, C. (2023). Avenues for non-conventional robotics technology applications in the food industry. *Food Research International*, 173, 113265. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.113265>

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119869>

Goti, A., Akyazi, T., Alberdi, E., Oyarbide, A., & Bayon, F. (2022). Future skills requirements of the food sector emerging with industry 4.0. *Innovation Strategies in the Food Industry: Tools for Implementation, Second Edition*, 253–285. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85203-6.00011-6>

Hassoun, A., Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Trif, M., Rusu, A. V., Aadil, R. M., Šimat, V., Crobotova, J., & Câmara, J. S. (2023). Food quality 4.0: From traditional approaches to digitalized automated analysis. *Journal of Food Engineering*, 337, 111216. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2022.111216>

Hassoun, A., Jagtap, S., Trollman, H., Garcia-Garcia, G., Abdullah, N. A., Goksen, G., Bader, F., Ozogul, F., Barba, F. J., Crobotova, J., Munekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2023). Food processing 4.0: Current and future developments spurred by the fourth industrial revolution. *Food Control*, 145, 109507. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2022.109507>

Hassoun, A., Prieto, M. A., Carpena, M., Bouzembrak, Y., Marvin, H. J. P., Pallarés, N., Barba, F. J., Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Ibrahim, S., & Bono, G. (2022). Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. *Food Research International*, 162, 112068. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112068>

Husaini, A. M., & Sohail, M. (2023). Robotics-assisted, organic agricultural-biotechnology based environment-friendly healthy food option: Beyond the binary of GM versus Organic crops. *Journal of Biotechnology*, 361, 41–48. <https://doi.org/10.1016/J.JBIO-TEC.2022.11.018>

Islam, S., Manning, L., & Cullen, J. M. (2022). Selection criteria for planning cold food chain traceability technology enabling industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 200,

1695–1704. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.370>

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>

Jagtap, S., Saxena, P., & Salonitis, K. (2021). Food 4.0: Implementation of the Augmented Reality Systems in the Food Industry. *Procedia CIRP*, *104*, 1137–1142. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2021.11.191>

Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V., & Antunes, J. A. do V. (2022). Industry 4.0: What makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon. *Technology in Society*, *70*, 102009. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2022.102009>

Kumar, S., Raut, R. D., Nayal, K., Kraus, S., Yadav, V. S., & Narkhede, B. E. (2021). To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. *Journal of Cleaner Production*, *293*, 126023. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126023>

Kunkel, S., Neuhäusler, P., Matthes, M., & Dachrodt, M. F. (2023). Industry 4.0 and energy in manufacturing sectors in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *188*, 113712. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2023.113712>

Lahane, S., Paliwal, V., & Kant, R. (2023). Evaluation and ranking of solutions to overcome the barriers of Industry 4.0 enabled sustainable food supply chain adoption. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *8*, 100116. <https://doi.org/10.1016/J.CLSCN.2023.100116>

Latino, M. E., Menegoli, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2022). Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, *178*, 121564. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.121564>

Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>, *55*(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>

Luque, A., Peralta, M. E., de las Heras, A., & Córdoba, A. (2017). State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1199–1205. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.195>

Marcon, É., Le Dain, M. A., & Frank, A. G. (2022). Designing business models for Industry 4.0 technologies provision: Changes in business dimensions through digital transformation. *Technological Forecasting and Social Change*, *185*, 122078. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.122078>

Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J., & Frank, A. G. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, *168*, 120784. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.120784>

Mirabelli, G., Nicoletti, L., Padovano, A., Solina, V., Mirabelli, G., Solina, V., Althea, K., & Nervoso, A. (2023). Exploring the Role of Industry 4.0 and Simulation as a Solution to Exploring the the COVID-19 Role of Industry Simulation as a Solution to Outbreak: a Literature Review the COVID-19 Outbreak: a Literature Review. *Procedia Computer Science*, *217*(2022), 1918–1929. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.392>

Miranda-Ackerman, M. A., & Colín-Chávezbc, C. (2019). Food Supply Chain Demand and Optimization. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 455–464. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22278-6>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., Gøtzsche, P. C., ... Tugwell, P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1000097>

Monshizadeh, F., Sadeghi Moghadam, M. R., Mansouri, T., & Kumar, M. (2023). Developing an industry 4.0 readiness model using fuzzy cognitive maps approach. *International Journal of Production Economics*, 255, 108658. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2022.108658>

Monteiro, J., & Barata, J. (2021). Artificial Intelligence in Extended Agri-Food Supply Chain: A Short Review Based on Bibliometric Analysis. *Procedia Computer Science*, 192, 3020–3029. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.09.074>

Morchid, A., El Alami, R., Raezah, A. A., & Sabbar, Y. (2023). Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*, 102509. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2023.102509>

Nagarajan, S. M., Deverajan, G. G., Chatterjee, P., Alnumay, W., & Muthukumaran, V. (2022). Integration of IoT based routing process for food supply chain management in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103448. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103448>

Paraginski, A. L. (2014). A natureza das inovações em agroindústrias de arroz do rio grande do sul. *INMR - Innovation & Management Review*, 11(1), 55–72. <https://doi.org/10.5773/rai.v11i1.1053>

Schöggel, J., Rusch, M., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2023). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 401–420. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>

Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution* (P. Penguin (ed.)). Penguin, Portfolio. <https://www.penguin.co.uk/books/304971/the-fourth-industrial-revolution-by-schwab-klaus/9780241300756>

Stefanini, R., & Vignali, G. (2022). The Environmental, Economic and Social Impact of Industry 4.0 in the Food Sector: a Descriptive Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1497–1502. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.09.602>

Swenja, S., Maximilian, P., & Thomas, S. (2022). Evolution of Pick-by-Light Concepts for Assembly Workstations to improve the Efficiency in Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 204, 37–44. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.08.005>

Talari, G., Cummins, E., McNamara, C., & O'Brien, J. (2022). State of the art review of Big Data and web-based Decision Support Systems (DSS) for food safety risk assessment with respect to climate change. *Trends in Food Science & Technology*, 126, 192–204. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.08.032>

Tamasiga, P., Ouassou, E. houssin, Onyeaka, H., Bakwena, M., Happonen, A., & Molala,

- M. (2023). Forecasting disruptions in global food value chains to tackle food insecurity: The role of AI and big data analytics – A bibliometric and scientometric analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100819. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100819>
- Uttama, N. P. (2021). Open Innovation and Business Model of Health Food Industry in Asia. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(3), 174. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7030174>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.02.034>
- Virmani, N., Sharma, S., Kumar, A., & Luthra, S. (2023). Adoption of industry 4.0 evidence in emerging economy: Behavioral reasoning theory perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122317. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.122317>
- Wolfert, S., Verdouw, C., van Wassenae, L., Dolfsma, W., & Klerkx, L. (2023). Digital innovation ecosystems in agri-food: design principles and organizational framework. *Agricultural Systems*, 204, 103558. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2022.103558>
- Yang, L., Zou, H., Shang, C., Ye, X., & Rani, P. (2023). Adoption of information and digital technologies for sustainable smart manufacturing systems for industry 4.0 in small, medium, and micro enterprises (SMMEs). *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122308. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.122308>
- Zangara, G., Cosma, A., & Filice, L. (2023). Impact analysis of Industry 4.0 in SMEs: Harmonic innovation as a virtuous evolution for the community development. *Procedia Computer Science*, 217, 1370–1377. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.12.335>