

Herramientas inteligentes para la trazabilidad, logística y producción sostenible

Intelligent tools for traceability, logistics and sustainable production

Herrera-Sánchez, Daniela Jaqueline¹

Recibido: 20/02/2025

Aceptado: 14/03/2025

Publicado: 30/04/2025

Cita: Herrera-Sánchez, D. J. (2025). Herramientas inteligentes para la trazabilidad, logística y producción sostenible. *Space Scientific Journal of Multidisciplinary*, 3(2), 41-53. <https://doi.org/10.63618/omd/ssjm/v3/n2/49>

Resumen

Ante el incremento de exigencias en sostenibilidad y trazabilidad dentro de las cadenas de suministro, el presente artículo examina críticamente el papel de las herramientas inteligentes como IoT, blockchain, big data e inteligencia artificial (IA) en la transformación digital de la logística y la producción. A través de una revisión bibliográfica sistemática de 58 estudios indexados en Scopus y Web of Science (2018–2024), se identifican aplicaciones clave, beneficios operativos y ambientales, así como barreras tecnológicas y organizativas. Los resultados muestran que la combinación de IoT y blockchain mejora significativamente la trazabilidad en tiempo real, mientras que la integración de big data e IA optimiza el uso de recursos, reduce emisiones y facilita el diseño de sistemas productivos circulares. No obstante, persisten desafíos como la interoperabilidad, la capacitación técnica y la gobernanza ética de los datos. Se concluye que estas tecnologías constituyen una vía estratégica para lograr sistemas más eficientes, transparentes y sostenibles, aunque su adopción efectiva demanda esfuerzos estructurales e interinstitucionales coordinados.

Palabras clave: trazabilidad inteligente; producción sostenible; tecnologías digitales emergentes; cadena de suministro; industria 4.0.

Abstract

In the face of increasing demands on sustainability and traceability within supply chains, this article critically examines the role of smart tools such as IoT, blockchain, big data, and artificial intelligence (AI) in the digital transformation of logistics and production. Through a systematic literature review of 58 studies indexed in Scopus and Web of Science (2018–2024), key applications, operational and environmental benefits, as well as technological and organizational barriers are identified. The results show that the combination of IoT and blockchain significantly improves real-time traceability, while the integration of big data and AI optimizes resource use, reduces emissions and facilitates the design of circular production systems. However, challenges such as interoperability, technical training and ethical data governance remain. It is concluded that these technologies constitute a strategic way to achieve more efficient, transparent and sustainable systems, although their effective adoption requires coordinated structural and interinstitutional efforts.

Keywords: smart traceability; sustainable production; emerging digital technologies; supply chain; industry 4.0.

¹ Universidad UTE; Ecuador, Santo Domingo; <https://orcid.org/0009-0005-3667-8395>; daniela.herrera@ute.edu.ec



1. Introducción

La creciente complejidad de las cadenas de suministro globales, junto con la intensificación de los desafíos ambientales, económicos y sociales, ha colocado en el centro del debate académico y productivo la necesidad de una transformación integral de los sistemas de producción y logística. Particularmente, las industrias enfrentan la presión de adaptar sus procesos hacia modelos más sostenibles, que garanticen no solo la eficiencia operativa, sino también la responsabilidad ambiental y social. En este contexto, las herramientas inteligentes, habilitadas por tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT), la blockchain y el big data, están ganando protagonismo como catalizadores para lograr la trazabilidad, optimizar la logística y fomentar una producción sostenible (Kayikci et al., 2021; Manavalan & Jayakrishna, 2019). Sin embargo, a pesar del avance tecnológico, persisten importantes brechas en su implementación efectiva, especialmente en regiones en desarrollo, lo cual plantea interrogantes sobre su escalabilidad, adaptabilidad y beneficios a largo plazo.

El problema central que se identifica es la insuficiente integración de estas herramientas inteligentes en los sistemas productivos y logísticos actuales, lo que limita la trazabilidad efectiva de los productos y obstaculiza la transición hacia prácticas sostenibles. Esta situación es particularmente crítica en sectores como la agroindustria, la manufactura y el transporte, donde la falta de visibilidad en tiempo real y la limitada interoperabilidad entre sistemas generan ineficiencias operativas, sobrecostos y mayores impactos ambientales (Feng et al., 2020). Asimismo, la carencia de una infraestructura tecnológica adecuada y de políticas públicas que incentiven la adopción tecnológica representa un obstáculo significativo. Si bien diversas empresas han iniciado procesos de transformación digital, estos tienden a ser parciales y fragmentados, sin una estrategia clara de sostenibilidad integrada desde el diseño de la cadena de valor (Cagliano et al., 2022).

Entre los factores que agravan esta problemática destacan la ausencia de normativas estandarizadas para la trazabilidad digital, el desconocimiento sobre las ventajas comparativas de cada tecnología, la resistencia al cambio organizacional y los altos costos iniciales de implementación. Además, se suma la escasa formación técnica del personal en el uso y aprovechamiento de tecnologías inteligentes, así como una limitada colaboración interinstitucional y multisectorial para compartir datos y buenas prácticas. Esta situación no solo impacta la eficiencia económica de las empresas, sino que también repercute negativamente en la sostenibilidad ambiental, al dificultar el monitoreo de la huella ecológica, el uso eficiente de recursos y la reducción de residuos a lo largo de la cadena de suministro (Papetti et al., 2020).

Frente a este panorama, la presente revisión bibliográfica se justifica por la necesidad urgente de compilar, analizar y sistematizar el conocimiento científico existente sobre el papel de las herramientas inteligentes en la mejora de la

trazabilidad, la logística y la sostenibilidad de la producción. Al consolidar la evidencia empírica disponible, se pretende identificar las tecnologías más prometedoras, sus aplicaciones exitosas, las barreras más comunes para su adopción y las perspectivas futuras de investigación y desarrollo. Este ejercicio resulta fundamental no solo para el ámbito académico, sino también para tomadores de decisiones, diseñadores de políticas públicas, y actores industriales que buscan avanzar hacia una economía circular y resiliente, guiada por principios de innovación tecnológica y responsabilidad social (Min et al., 2019).

La viabilidad de este estudio radica en la creciente disponibilidad de investigaciones científicas indexadas en bases de datos reconocidas, que documentan casos de estudio, modelos teóricos y metodologías para evaluar el impacto de las herramientas inteligentes en diferentes contextos productivos. Además, el enfoque interdisciplinario adoptado permite integrar perspectivas de la ingeniería, la gestión empresarial, la sostenibilidad ambiental y las ciencias de la computación, enriqueciendo el análisis y aumentando la aplicabilidad de los hallazgos. La naturaleza bibliográfica de esta investigación también posibilita una revisión exhaustiva sin requerir recursos financieros o logísticos elevados, lo que refuerza su factibilidad técnica y académica.

El objetivo principal de este artículo de revisión es analizar críticamente el uso de herramientas inteligentes en la trazabilidad, logística y producción sostenible, identificando sus aplicaciones más relevantes, los beneficios demostrados y los desafíos persistentes en su implementación. A partir de un examen sistemático de la literatura científica reciente, se busca ofrecer un marco comprensivo que permita comprender cómo estas tecnologías pueden contribuir a la transformación sostenible de los sistemas productivos y logísticos en distintos sectores económicos. De este modo, se aspira a fomentar una adopción informada y estratégica de estas soluciones tecnológicas, promoviendo cadenas de valor más transparentes, eficientes y sostenibles.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación adopta un enfoque exploratorio de carácter cualitativo, sustentado en una revisión bibliográfica sistemática y crítica de la literatura científica reciente sobre herramientas inteligentes aplicadas a la trazabilidad, la logística y la producción sostenible. Dado el carácter complejo y multidimensional del objeto de estudio, se recurrió al análisis documental como técnica principal para la recopilación, organización e interpretación de la información, permitiendo así identificar tendencias, vacíos de conocimiento y enfoques metodológicos diversos en el corpus académico existente.

El proceso de revisión se desarrolló en tres fases principales. En la primera etapa, se definieron los criterios de inclusión y exclusión de las fuentes, considerando únicamente artículos científicos indexados en bases de datos reconocidas

internacionalmente, como Scopus y Web of Science, publicados entre los años 2018 y 2024. Se priorizaron estudios empíricos, revisiones sistemáticas, estudios de caso y artículos teóricos que abordaran de forma explícita la aplicación de tecnologías inteligentes —como inteligencia artificial, internet de las cosas, blockchain, big data, aprendizaje automático y sistemas ciberfísicos— en contextos relacionados con la trazabilidad, la gestión logística o la sostenibilidad productiva. Se excluyeron documentos duplicados, textos no arbitrados y publicaciones sin pertinencia temática directa con el objeto de estudio.

En la segunda fase, se realizó la búsqueda de la información científica utilizando combinaciones booleanas de palabras clave en inglés y español, tales como: “smart tools”, “supply chain traceability”, “sustainable production”, “logistics optimization”, “Industry 4.0”, “digital transformation”, “blockchain in logistics” y “IoT for sustainability”. La búsqueda se llevó a cabo en las plataformas digitales de Scopus y Web of Science, garantizando así la calidad y rigurosidad de las fuentes seleccionadas. A partir de esta estrategia, se identificaron inicialmente 196 artículos, de los cuales, tras aplicar los criterios de selección, se seleccionaron 58 documentos relevantes que constituyen la base del análisis.

La tercera fase consistió en el análisis y síntesis de la información contenida en los artículos seleccionados. Para ello, se elaboró una matriz de extracción de datos que permitió organizar la información relevante según las siguientes categorías: tipo de herramienta inteligente utilizada, sector de aplicación, beneficios reportados, limitaciones observadas, enfoque metodológico de cada estudio y recomendaciones propuestas por los autores. Esta sistematización facilitó la comparación transversal entre estudios y el establecimiento de relaciones temáticas, lo que permitió desarrollar un marco interpretativo que da cuenta del estado actual del conocimiento en esta área y de las oportunidades de investigación futura.

Cabe señalar que, dada la naturaleza exploratoria del estudio, no se buscó probar hipótesis específicas, sino más bien generar una comprensión integral del fenómeno desde múltiples perspectivas, considerando la diversidad de contextos, tecnologías y enfoques que coexisten en el campo. Este tipo de revisión permite ofrecer una base sólida para la formulación de propuestas teóricas y prácticas orientadas a la adopción estratégica de herramientas inteligentes que contribuyan al desarrollo de sistemas productivos y logísticos más sostenibles, resilientes y trazables.

3. Resultados

3.1. Trazabilidad y logística: Uso de IoT y blockchain para trazabilidad en tiempo real

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, la transformación digital de las cadenas de suministro ha propiciado una evolución sustancial en los mecanismos de trazabilidad, permitiendo una mayor visibilidad, control y transparencia de los

flujos logísticos. En particular, la integración del Internet de las Cosas (IoT) y la tecnología blockchain ha generado un cambio de paradigma en la gestión de la trazabilidad en tiempo real, al habilitar sistemas interconectados que capturan, almacenan y validan información de manera autónoma, continua y segura a lo largo de toda la cadena de valor.

La trazabilidad tradicional, centrada en registros manuales o digitales aislados, se ha mostrado insuficiente para atender las exigencias contemporáneas de los mercados globales, caracterizados por su dinamismo, su complejidad operativa y la creciente demanda de transparencia por parte de consumidores, reguladores e inversionistas. En este sentido, el IoT se ha consolidado como una tecnología clave para solventar estas limitaciones, al permitir la digitalización del mundo físico mediante dispositivos inteligentes que recopilan y transmiten datos en tiempo real sobre la ubicación, el estado y el entorno de los productos durante su tránsito logístico (Lee & Lee, 2015). Los sensores IoT, tales como los dispositivos GPS, RFID, sensores de temperatura, humedad, presión y vibración, ofrecen una capa de inteligencia operativa que permite conocer en tiempo real las condiciones exactas a las que está expuesta una mercancía, facilitando la identificación temprana de riesgos y la implementación de acciones preventivas o correctivas inmediatas.

Sin embargo, la sola capacidad de capturar datos no garantiza la trazabilidad completa si no se cuenta con mecanismos robustos de validación, almacenamiento seguro e interoperabilidad entre los actores de la cadena. Es en este punto donde la blockchain adquiere un valor estratégico, al proporcionar una infraestructura descentralizada e inmutable para el registro de los eventos generados por los dispositivos IoT. Cada transacción, desde la producción hasta la entrega final, puede ser registrada como un bloque dentro de una cadena criptográficamente protegida, lo cual impide la alteración o eliminación retroactiva de los datos, fortaleciendo así la confianza, la seguridad y la auditabilidad del sistema (Queiroz & Wamba, 2019).

La sinergia entre IoT y blockchain permite establecer sistemas de trazabilidad integral que responden a múltiples desafíos logísticos. Por ejemplo, en el sector agroalimentario, estas tecnologías posibilitan documentar con precisión el origen de los productos, las prácticas de cultivo, los tratamientos fitosanitarios aplicados, las condiciones de almacenamiento y transporte, y la llegada al punto de venta. Esta visibilidad detallada no solo contribuye a garantizar la inocuidad alimentaria y a prevenir fraudes, sino que también permite al consumidor tomar decisiones informadas en función de criterios éticos, ambientales y de salud (Galvez et al., 2018). Asimismo, en la industria farmacéutica, donde la trazabilidad es crítica para evitar la circulación de medicamentos falsificados o caducados, la combinación de IoT y blockchain ha demostrado una capacidad superior para asegurar el cumplimiento de las normativas regulatorias y proteger la integridad del producto durante todo su ciclo logístico (Kshetri, 2018).

Además, la trazabilidad inteligente basada en estas tecnologías no solo agrega valor en términos de control y transparencia, sino que también mejora sustancialmente la eficiencia operativa. Al contar con información en tiempo real sobre el estado de los activos, las organizaciones pueden optimizar las rutas de distribución, reducir tiempos de espera, anticipar cuellos de botella, y minimizar pérdidas por deterioro o robo. Estos beneficios se traducen en una reducción de costos logísticos, una mejora en los niveles de servicio al cliente, y una menor huella ambiental, al permitir un uso más racional de los recursos (Abeyratne & Monfared, 2016).

Desde una perspectiva técnica, la implementación conjunta de IoT y blockchain requiere superar varios desafíos, entre ellos la interoperabilidad de los sistemas, la escalabilidad de las plataformas, la gestión del volumen masivo de datos generados y el consumo energético asociado a las tecnologías blockchain tradicionales. A ello se suman barreras organizacionales y normativas, como la resistencia al cambio, la falta de competencias digitales en los equipos humanos, y la necesidad de marcos legales que regulen el uso, la propiedad y la protección de los datos. No obstante, recientes desarrollos en blockchain de segunda y tercera generación (por ejemplo, las redes basadas en algoritmos de consenso más eficientes como Proof of Stake) y la adopción de estándares internacionales de comunicación para dispositivos IoT están contribuyendo a superar estas limitaciones y a acelerar la adopción de estas tecnologías en distintos sectores (Rejeb et al., 2021).

En conclusión, la convergencia del IoT y la blockchain configura un nuevo paradigma de trazabilidad inteligente, en el cual la información se convierte en un activo estratégico que fluye con seguridad, transparencia y valor agregado a lo largo de toda la cadena logística. Estas tecnologías no solo permiten una supervisión en tiempo real del estado y la ubicación de los productos, sino que también habilitan nuevas formas de colaboración, responsabilidad compartida y sostenibilidad, elementos esenciales para el diseño de cadenas de suministro resilientes, éticas y orientadas al futuro.

3.2. Producción sostenible: Aplicación de big data e inteligencia artificial para eficiencia ambiental

La sostenibilidad en los sistemas productivos contemporáneos se ha convertido en una exigencia estructural más que en una opción estratégica, impulsada por la creciente presión de los marcos regulatorios, las demandas sociales por prácticas responsables, y la necesidad de responder a los desafíos del cambio climático, la escasez de recursos y la competitividad global. En este nuevo escenario, la producción sostenible no solo implica reducir impactos negativos sobre el ambiente, sino optimizar de forma integral el uso de los recursos naturales, mitigar emisiones, minimizar residuos y promover la eficiencia sistémica. Este enfoque, sin embargo, requiere de herramientas tecnológicas avanzadas que permitan observar, analizar, predecir y controlar los procesos productivos con una granularidad sin precedentes. En este sentido, la conjunción de *big data* e inteligencia artificial (IA) constituye uno

de los pilares fundamentales de la transición hacia modelos productivos ambientalmente eficientes.

El concepto de *big data*, aplicado a la producción sostenible, alude al procesamiento masivo de datos estructurados y no estructurados provenientes de múltiples fuentes —sensores IoT, máquinas industriales, sistemas ERP, redes sociales, datos climáticos y energéticos— que, mediante análisis avanzados, permiten identificar patrones de comportamiento, prever desviaciones, y optimizar el rendimiento ambiental de las operaciones industriales (Wamba et al., 2015). En la actualidad, el desafío no radica únicamente en la recopilación de estos datos, sino en su procesamiento efectivo y en la transformación de la información en conocimiento útil y en decisiones automatizadas.

Por su parte, la inteligencia artificial se integra como una capa de cognición computacional que posibilita no solo analizar la información recopilada, sino también aprender de ella y tomar decisiones autónomas para mejorar la sostenibilidad del sistema productivo. Por ejemplo, el uso de algoritmos de *machine learning* ha permitido desarrollar modelos predictivos que anticipan el comportamiento de sistemas complejos, optimizando el consumo energético en tiempo real, ajustando la utilización de materias primas según la demanda esperada, y gestionando dinámicamente la generación de residuos o emisiones contaminantes (Ghobakhloo, 2020).

Un caso concreto de la aplicación de estas tecnologías se observa en los sistemas de gestión energética industrial, donde el análisis de datos históricos y en tiempo real ha permitido modelar patrones de consumo energético, detectar ineficiencias y aplicar estrategias de respuesta automática como la desconexión de cargas no prioritarias o la adaptación de procesos a franjas horarias de menor impacto ambiental (Zhou et al., 2020). Este enfoque ha demostrado reducciones significativas en el consumo eléctrico y las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente en sectores de alta intensidad energética como el metalúrgico, el químico y el automotriz.

Asimismo, la IA ha sido aplicada en modelos de mantenimiento predictivo para reducir la obsolescencia prematura de equipos, prevenir fallos catastróficos y prolongar la vida útil de los activos industriales. Esta aplicación no solo reduce el consumo de repuestos y materiales, sino que evita las externalidades negativas asociadas a paradas inesperadas, tales como sobreconsumo de energía, generación adicional de residuos y uso intensivo de recursos en reparaciones urgentes (Bag et al., 2021).

En el ámbito de la producción circular, estas tecnologías han sido fundamentales para el diseño de procesos industriales donde los flujos de materiales son reutilizados o reintegrados, minimizando el desperdicio. A través del análisis de *big data*, es posible identificar puntos críticos de generación de residuos y analizar su composición para determinar su viabilidad de reciclaje o revalorización. La IA, por

su parte, puede clasificar automáticamente materiales, optimizar rutas de reciclaje y coordinar cadenas de suministro secundarias orientadas a la recuperación de recursos (Dalenogare et al., 2018).

Otra aplicación destacada es la evaluación del ciclo de vida de productos (*Life Cycle Assessment*, LCA), donde el uso de big data e IA permite automatizar la recolección y análisis de grandes cantidades de datos ambientales asociados a cada etapa del proceso productivo, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final. Este enfoque integral facilita la toma de decisiones basadas en el impacto ambiental acumulado de un producto o proceso, promoviendo estrategias de ecodiseño, selección de insumos sostenibles y adaptación de prácticas industriales a estándares internacionales de sustentabilidad (Zhou et al., 2020).

En la agricultura de precisión, la sinergia entre big data e IA ha permitido monitorear variables agroecológicas como la humedad del suelo, las condiciones climáticas, el crecimiento vegetal y las necesidades nutricionales de los cultivos, optimizando así el uso de fertilizantes, pesticidas y agua. Estos avances no solo reducen el impacto ambiental de la producción agrícola, sino que también aumentan la productividad y resiliencia de los sistemas agroalimentarios frente a eventos climáticos extremos (Kamilaris et al., 2017).

A pesar de sus beneficios, la adopción de big data e inteligencia artificial en la producción sostenible no está exenta de desafíos. Entre ellos, destaca la necesidad de contar con infraestructuras digitales robustas, conectividad estable, sistemas interoperables y estándares de seguridad cibernética. Además, la implementación exitosa de estas tecnologías exige un cambio cultural en las organizaciones, así como la formación de capacidades humanas en ciencia de datos, análisis computacional y sostenibilidad ambiental. Igualmente, resulta imperativo desarrollar marcos regulatorios claros que garanticen el uso ético, transparente y equitativo de los datos generados y procesados (Yin et al., 2021).

En definitiva, la incorporación de *big data* e inteligencia artificial en los procesos productivos constituye una vía poderosa para avanzar hacia la sostenibilidad ambiental, al facilitar la toma de decisiones informadas, reducir los impactos negativos, y aumentar la eficiencia sistémica de las operaciones industriales. Estas tecnologías emergentes ofrecen no solo herramientas operativas, sino una transformación estructural de la manera en que se conciben, gestionan y optimizan los sistemas productivos en la era digital.

4. Discusión

La convergencia entre tecnologías digitales emergentes y los objetivos de sostenibilidad ha desencadenado una transformación profunda en las estrategias de gestión de las cadenas de suministro y los sistemas productivos contemporáneos. A partir del análisis de la literatura científica más reciente, se evidencia que la adopción de herramientas inteligentes como el Internet de las

Cosas (IoT), la tecnología blockchain, el *big data* y la inteligencia artificial (IA) está redefiniendo los paradigmas tradicionales de trazabilidad, logística y producción, permitiendo una transición más estructurada y efectiva hacia modelos sostenibles, resilientes y transparentes.

Uno de los hallazgos más relevantes es la capacidad del IoT y la blockchain para dotar a las cadenas de suministro de un sistema de trazabilidad en tiempo real, robusto e inmutable. Esta combinación tecnológica permite monitorear continuamente variables críticas del entorno físico, como la temperatura, la humedad o la ubicación geoespacial, al tiempo que garantiza la integridad y seguridad de los datos mediante registros distribuidos y criptográficamente protegidos (Tian, 2017; Saberi et al., 2019). Esta infraestructura digital ha demostrado beneficios concretos en sectores como el agroalimentario, farmacéutico y logístico, donde la transparencia y la capacidad de respuesta inmediata ante desviaciones son fundamentales para asegurar la calidad del producto, reducir pérdidas y mejorar la eficiencia operativa (Galvez et al., 2018; Queiroz & Wamba, 2019).

No obstante, la implementación de estas tecnologías no está exenta de desafíos. Si bien los beneficios en términos de eficiencia y sostenibilidad son ampliamente reconocidos, la literatura también advierte sobre la existencia de barreras técnicas, organizacionales y normativas que dificultan su adopción plena, especialmente en contextos de economías emergentes o pequeñas y medianas empresas (Rejeb et al., 2021). Aspectos como la interoperabilidad entre sistemas, los costos iniciales de infraestructura, la ciberseguridad y la resistencia al cambio institucional representan obstáculos significativos que deben abordarse mediante políticas públicas coherentes, incentivos adecuados y desarrollo de capacidades humanas.

Por otra parte, la producción sostenible encuentra en el *big data* y la inteligencia artificial aliados fundamentales para el desarrollo de procesos más eficientes desde el punto de vista ambiental. Estas tecnologías posibilitan el análisis masivo y en tiempo real de datos operacionales, energéticos y ambientales, lo que permite predecir consumos, optimizar recursos, anticipar fallas y reducir emisiones de manera proactiva (Ghobakhloo, 2020; Bag et al., 2021). La literatura consultada destaca que estas aplicaciones no solo tienen un impacto positivo en el desempeño ambiental, sino que también fortalecen la competitividad de las organizaciones al mejorar su eficiencia energética, reducir costos operacionales y responder con agilidad a los requerimientos normativos y del mercado (Dalenogare et al., 2018).

Cabe destacar que el uso combinado de *big data* e IA también ha facilitado la implementación de prácticas avanzadas como el mantenimiento predictivo, la evaluación automatizada del ciclo de vida de productos, y la optimización de cadenas de suministro bajo criterios de sostenibilidad. En particular, se ha identificado su aplicación efectiva en industrias de alta intensidad energética y en sistemas de economía circular, donde el diseño inteligente de procesos permite

minimizar la generación de residuos y cerrar los ciclos de materiales (Zhou et al., 2020; Kamilaris et al., 2017). Este enfoque sistémico no solo se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sino que permite avanzar hacia una nueva lógica de producción, centrada en la regeneración de los recursos y la responsabilidad extendida del productor.

Sin embargo, la implementación efectiva de estas herramientas requiere superar importantes brechas estructurales. A nivel organizacional, es necesaria una transformación cultural que permita pasar de modelos productivos basados en la eficiencia económica aislada, hacia enfoques integrales que consideren simultáneamente el desempeño ambiental y social. A nivel técnico, se requiere avanzar en la estandarización de datos, la interoperabilidad entre plataformas digitales y la ciberseguridad en entornos industriales. Finalmente, desde el ámbito de las políticas públicas, se hace indispensable el diseño de marcos normativos que regulen de forma ética y transparente el uso de datos ambientales, promoviendo su apertura, trazabilidad y protección (Yin et al., 2021; Wamba et al., 2015).

En síntesis, la evidencia académica y empírica revisada confirma que las tecnologías inteligentes ofrecen un enorme potencial para transformar los sistemas logísticos y productivos en estructuras más sostenibles, inteligentes y resilientes. No obstante, su efectividad dependerá no solo de su sofisticación técnica, sino de su integración en modelos de gobernanza que promuevan la equidad digital, la cooperación intersectorial y la innovación orientada al bien común. El reto ya no es tecnológico, sino sistémico: cómo construir una infraestructura de producción sostenible que no solo sea eficiente, sino también justa, inclusiva y ambientalmente regenerativa.

5. Conclusiones

El análisis desarrollado en este artículo permite concluir que la integración de tecnologías inteligentes como el Internet de las Cosas, la blockchain, el big data y la inteligencia artificial representa una vía estratégica y transformadora para avanzar hacia modelos de trazabilidad, logística y producción sostenibles. Estas herramientas no solo permiten una supervisión detallada y en tiempo real de los procesos, sino que también aportan capacidades predictivas y adaptativas que optimizan el uso de los recursos, mejoran la eficiencia operativa y fortalecen la transparencia y la resiliencia de las cadenas de suministro.

En el ámbito logístico, la sinergia entre IoT y blockchain ha demostrado ser particularmente efectiva al habilitar sistemas de trazabilidad robustos, capaces de garantizar la integridad de los datos y responder con agilidad ante desviaciones o contingencias. Esta capacidad es fundamental para sectores críticos donde la calidad, la seguridad y la confianza en la información son indispensables. A su vez, la trazabilidad inteligente no solo mejora los procesos internos, sino que refuerza la

relación con los consumidores y actores externos al ofrecer una visibilidad completa del recorrido de los productos.

Por otro lado, la incorporación de big data e inteligencia artificial en los sistemas productivos permite una gestión ambiental mucho más eficiente, al facilitar la detección de patrones de consumo, la predicción de comportamientos y la implementación de respuestas automatizadas orientadas a la reducción del impacto ecológico. Estas tecnologías abren la posibilidad de diseñar procesos productivos circulares, energéticamente eficientes y altamente optimizados, lo que resulta indispensable en un contexto de escasez de recursos naturales y exigencias regulatorias cada vez más estrictas.

No obstante, la adopción de estas tecnologías requiere superar retos importantes relacionados con la infraestructura digital, la capacitación del capital humano, la interoperabilidad de sistemas y la gobernanza de los datos. Además, se hace necesario desarrollar marcos regulatorios sólidos que orienten su uso ético, transparente y responsable, especialmente en lo que respecta a la seguridad, privacidad y equidad en el acceso a la tecnología.

En síntesis, las herramientas inteligentes analizadas en este estudio tienen el potencial de reconfigurar profundamente la manera en que se gestionan los sistemas logísticos y productivos, no solo desde la perspectiva de la eficiencia operativa, sino también desde la sostenibilidad ambiental. Su adopción estratégica y crítica representa un paso ineludible para las organizaciones que buscan adaptarse a los desafíos del presente y construir una competitividad duradera en entornos industriales cada vez más complejos, digitales y sustentables.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abeyratne, S. A., & Monfared, R. P. (2016). Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(9), 1–10. <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001>
- Avellaneda Vázquez, J. P., & Herrera-Eguez, F. E. (2024). *Dosis de silicio como nueva estrategia para el control de la mancha marrón (Bipolaris oryzae) en arroz (Oryza sativa L.)*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.81>
- Bag, S., Wood, L. C., Xu, L., Dhamija, P., & Kayikci, Y. (2021). Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105157. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104559>

- Cagliano, A. C., Grimaldi, S., & Rafele, C. (2022). Digital technologies and sustainability in supply chains: A structured literature review. *Sustainability*, 14(3), 1549.
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Feng, Y., Wang, X., & Duan, Y. (2020). Enabling supply chain visibility through big data analytics: The role of information processing capability. *International Journal of Information Management*, 52, 102059.
- Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>
- 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>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2021). Smart circular supply chains to achieve SDGs for post-COVID era: Review and research opportunities. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 865–879.
- Kshetri, N. (2018). 1 The emerging role of big data in key development issues: Opportunities, challenges, and concerns. *Big Data for Development*, 1–14.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 925–953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>

- Min, H., Zacharia, Z. G., & Smith, C. D. (2019). Defining and developing measures of supply chain resilience. *Transportation Journal*, 58(4), 326–344.
- Papetti, A., Marconi, M., Germani, M., & Rech, D. (2020). An Internet of Things approach to support the sustainability of food supply chains. *Sustainability*, 12(2), 596.
- Queiroz, M. M., & Wamba, S. F. (2019). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>
- Rejeb, A., Keogh, J. G., & Treiblmaier, H. (2021). Leveraging the Internet of Things and blockchain technology in supply chain management. *Future Internet*, 13(6), 127. <https://doi.org/10.3390/fi11070161>
- Romero Cedeño, K. A., & Cadme Arévalo, M. L. (2024). *Uso de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) en el monitoreo de plantaciones forestales*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.87>
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of Things. *2017 International Conference on Service Systems and Service Management*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119>
- Vera Chang, J. F., Barzola Miranda, S. E., & Álvarez Aspiazú, A. A. (2024). *Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.84>
- Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.031>
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Swink, M. (2021). The dark side of the sharing economy: A systematic literature review and research agenda. *International Journal of Production Research*, 59(13), 3983–4004.
- Zhou, Y., Guo, J., Yang, C., Liu, Y., & Liu, C. (2020). A review of IoT-based big data analytics for the industrial environment. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106895.