Revista Científica Arbitrada Reporte Climatológico
ISSN (e): 3080 – 2504 / Depósito Legal: ZU2024000193
Vol. 2(1), enero-junio 2026

EMPRENDIMIENTO EN ECONOMÍA CIRCULAR MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CADENAS DE SUMINISTRO AGRÍCOLAS

Marcia Jaramillo*
https://orcid.org/0000-0002-0477-042X

RECIBIDO: 24/06/2025 **ACEPTADO**: 03/12/2025 **PUBLICADO**: 20/01/2026

Cómo citar: Jaramillo, M. (2026). Emprendimiento en economía circular mediante inteligencia artificial en cadenas de suministro agrícolas. *Revista Científica Arbitrada Reporte Climatológico, 2*(1), 50-66.

RESUMEN

Este artículo propone un marco metodológico integral para el desarrollo de emprendimientos en economía circular, utilizando técnicas avanzadas de inteligencia artificial (IA) como los algoritmos evolutivos y el aprendizaje por refuerzo. El objetivo principal es optimizar cadenas de suministro sostenibles en el contexto de la Industria 4.0, abordando el problema de los residuos agrícolas en Ecuador, donde el banano es un pilar económico. Se presenta un modelo aplicable específicamente a emprendimientos agrícolas en la provincia de El Oro, con énfasis en la producción de banano. El marco metodológico abarca técnicas de optimización multiobjetivo, evaluación del impacto ambiental mediante indicadores validados y simulaciones de logística inversa empleando herramientas especializadas. Este estudio se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 8 (trabajo decente y crecimiento económico), 9 (industria, innovación e infraestructura) y 12 (producción y consumo responsables), ofreciendo a jóvenes emprendedores una guía práctica para desarrollar modelos de negocio sostenibles que promuevan estas metas. Los hallazgos metodológicos demuestran la viabilidad de integrar IA y economía circular para optimizar decisiones complejas en sistemas agrícolas, proporcionando un enfoque replicable para otras cadenas de valor agrícolas.

Palabras clave: economía circular, inteligencia artificial, cadenas de suministro agrícolas.

---

* Universidad Técnica de Machala, Machala-Ecuador, mjaramillo@utmachala.edu.ec

Circular economy entrepreneurship through artificial intelligence in agricultural supply chains

ABSTRACT

Climate change has intensified the frequency and severity of extreme weather events, creating public health emergencies that overwhelm the response capacity of health systems, particularly at the hospital level. This crisis not only poses a direct threat to physical infrastructure but also exposes the rigidity of traditional management models and their inability to adapt to high-uncertainty scenarios. In this context, transformational leadership emerges as a strategic factor capable of catalyzing the transition toward resilient and sustainable healthcare organizations. By inspiring innovation, fostering adaptability, and mobilizing human talent commitment, this leadership style is crucial for the preparation, response, and recovery from adverse climate events. This study aims to analyze the role of transformational leadership in building hospital resilience to climate-related emergencies. Through a systematic documentary review, the intersection between climate change management, hospital sustainability, and transformational leadership is explored. Preliminary results suggest that this leadership approach is key to implementing mitigation and adaptation strategies aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs 3, 11, and 13). The study concludes that strengthening transformational leadership is a necessary strategic investment to transform hospitals into institutions prepared for an uncertain climate future.

Keywords: circular economy, artificial intelligence, agricultural supply chains

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el emprendimiento se ha convertido en un pilar fundamental para impulsar el desarrollo económico sostenible, especialmente en áreas rurales donde las oportunidades son escasas y el acceso a tecnologías modernas es limitado. La llegada de la cuarta revolución industrial, o Industria 4.0, ha transformado la forma en que gestionamos las cadenas de suministro a nivel global, gracias a innovaciones como el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de Big data, tecnología blockchain y, por supuesto, la inteligencia artificial (IA). En este contexto, combinar la economía circular con la IA abre un mundo de posibilidades para crear negocios que no solo sean rentables, sino también responsables tanto con el planeta como las personas.

La economía circular es un enfoque que busca reducir el desperdicio al máximo mediante el aprovechamiento al máximo de recursos, a través de prácticas como: reciclaje,

reutilización y transformación de subproductos. Este modelo se fundamenta en ideas de otorgar una segunda vida a los residuos, trabajar de manera eficiente y pensar en el impacto global de nuestras acciones. Por su parte, la IA permite analizar datos complejos, predecir resultados para tomar decisiones más inteligentes, lo que es clave en el diseño de cadenas de suministro más sostenibles.

En Ecuador, un país donde la agricultura y la agroindustria son motores económicos, adoptar la economía circular puede marcar una gran diferencia, aunque también enfrenta retos importantes. Por ejemplo, Ecuador es uno de los mayores exportadores de banano del mundo, cuya tendencia de producción se muestra en constante crecimiento, tanto así que, según Salazar-Zambrano et al. (2025) proyectan para el 2025 un total de 3.447.321 de exportaciones de la fruta. Sin embargo, esta industria lidia con problemas como plagas, uso excesivo de químicos, condiciones laborales complicadas y una gestión poco eficiente de los residuos orgánicos, lo que resalta la urgencia de adoptar prácticas más responsables.

En este sentido, integrar la economía circular y la IA no solo hace que las empresas sean más competitivas, sino que también contribuye a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos relacionados con el empleo digno (ODS 8), la innovación en la industria (ODS 9) y el consumo responsable (ODS 12). Este artículo propone un modelo práctico para que los emprendedores en la provincia de El Oro, donde el banano es un pilar económico, usen herramientas de IA, como algoritmos evolutivos y aprendizaje por refuerzo, para crear negocios circulares que sean rentables y sostenibles.

2. FUNDAMENTACION TEÓRICA

2.1. Emprendimiento tecnológico y transformación digital en la Industria 4.0

El emprendimiento tecnológico se define como la creación de nuevas empresas o iniciativas empresariales que incorporan tecnología como elemento central de su modelo de negocio (Haessler et al., 2023). En la era de la Industria 4.0, herramientas como el IoT, el Big data, blockchain y la IA están impulsando a los emprendedores a tomar decisiones más informadas, automatizar procesos y aumentar sus probabilidades de éxito. Como, por ejemplo, los sensores IoT conectados a sistemas de monitoreo, que pueden ofrecer

información en tiempo real sobre factores como temperatura, humedad o ubicación, permitiendo a los emprendedores reaccionar rápidamente con precisión.

La cuarta revolución industrial ha transformado profundamente la gestión de cadenas de suministro globales mediante la integración de tecnologías avanzadas. Sensores IoT conectados a sistemas centralizados de monitoreo pueden proporcionar datos en tiempo real sobre variables críticas, como temperatura, humedad y ubicación, facilitando la toma de decisiones precisas y oportunas (Ben-Daya et al., 2019)

Big data permite analizar grandes volúmenes de información para poder identificar patrones, así como identificar tendencias que mejoran la eficiencia operativa, e incorporar en la planificación estratégica de las empresas. Según Onyeaka et al. (2025), estas tecnologías reducen riesgos ambientales mediante la utilización de sensores remotos, lo cual deriva a una gestión más precisa de inventarios y rutas logísticas

Grand View Research (2024) señalan que el mercado global de análisis de big data alcanzó la cifra de $327.26 mil millones para el año 2023, con un crecimiento anual compuesto del 14.9%, lo que demuestra el creciente papel de la tecnología en la toma de decisiones empresariales en relación a la relevancia económica en países en desarrollo. Estudios recientes muestran que el IoT tiene una relación positiva y significativa tanto con la gestión de cadenas de suministro verdes (GSCM) como con la economía circular (CE), lo que ha permitido a las empresas identificar ineficiencias para minimizar impactos ambientales (Zhang et al., 2024).

2.2. Economía circular y sostenibilidad empresarial

La economía circular busca cambiar el modelo tradicional de “producir, usar y tirar” por uno donde los recursos se reutilicen, reparen o reciclen (Geissdoerfer et al., 2017). Este enfoque no solo protege el medio ambiente, sino que también crea valor económico al extender la vida útil de los materiales. En países como Ecuador, los residuos de banano son un gran desafío, pero también una oportunidad. Por ejemplo, se pueden transformar en bioetanol, biopolímeros o nanomateriales a través de procesos biotecnológicos. Sin embargo, la deficiente infraestructura, aunado a la resistencia al cambio por parte de los productores son barreras que los emprendedores deben superar.

Para emprendedores jóvenes, es crucial comprender que la economía circular ofrece múltiples oportunidades de negocio mediante la transformación de residuos en productos de alto valor añadido, como biofertilizantes y biopolímeros. Estos esfuerzos no solo reducen la generación de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también promueven la autosuficiencia material y energética en plantaciones agrícolas, contribuyendo al cumplimiento de los ODS.

En el ámbito agrícola, la economía circular puede aplicarse mediante prácticas como la conversión de residuos orgánicos en biofertilizantes, el uso de subproductos en la generación de energía o la integración de sistemas agroforestales. La investigación científica ha demostrado que estas prácticas pueden reducir significativamente el consumo de agua y fertilizantes en cultivos intensivos, mientras que el uso de sensores de humedad del suelo puede optimizar el riego en comparación con métodos tradicionales.

2.3. Integración de IA y emprendimiento circular

La IA es una aliada poderosa para los negocios circulares, porque permite analizar sistemas complejos, predecir resultados para optimizar decisiones considerando factores económicos, ambientales y sociales. Los algoritmos tanto evolutivos, como genéticos, son ideales para resolver problemas complejos, como diseñar rutas logísticas o gestionar residuos agrícolas. Por otro lado, el aprendizaje por refuerzo ayuda a manejar recursos limitados de forma inteligente, adaptándose a cambios en tiempo real. Por ejemplo, combinar sensores IoT con modelos de IA puede controlar automáticamente el riego según el clima, ahorrando agua mientras se reduce costos.

Para emprendedores jóvenes, es importante entender que los algoritmos genéticos pueden utilizarse para optimizar redes logísticas inversas en la recolección y reciclaje de residuos agrícolas, como tallos de banano o cáscaras de cacao (Onyeaka et al., 2025). Estos modelos pueden simular diferentes escenarios para evaluar el impacto de decisiones como la ubicación de centros de procesamiento o la selección de rutas logísticas más eficientes, minimizando simultáneamente costos económicos, impactos ambientales y exposición al riesgo climático.

2.4. Estado del arte de la Industria 4.0 en la gestión de suministros agrícolas.

La Industria 4.0 y la economía circular (10R) están transformando las cadenas de suministro agrícolas. Tecnologías como IoT y big data permiten monitorear en tiempo real variables como la calidad del suelo o la humedad, mejorando la trazabilidad y reduciendo el desperdicio. En Ecuador, estas herramientas pueden optimizar la producción de banano, asegurando que cumpla con estándares internacionales de sostenibilidad y comercio justo. Con esto se va más allá de las estrategias circulares más allá del tradicional enfoque 3R (reducir, reutilizar, reciclar).

La implementación de IoT y big data en la cadena de suministro agrícola ecuatoriana, particularmente en la exportación de banano, ha demostrado potencial para optimizar el uso de recursos hídricos, reducir emisiones de CO_2 y mejorar la trazabilidad de productos, cumpliendo con estándares internacionales de comercio justo y sostenible (Waller & Fawcett, 2013). Modelos predictivos basados en big data pueden ajustar redes logísticas internas, un enfoque que bien podría replicarse en regiones como la provincia de El Oro en Ecuador.

De acuerdo con Shoaib et al. (2025) la integración de sensores IoT y big data en cadenas de suministro agrícolas permite monitorear en tiempo real variables como temperatura, humedad y calidad del suelo, facilitando la toma de decisiones informadas para mejorar la trazabilidad de productos perecederos. Sensores avanzados, como los basados en espectroscopía Raman, así como sensores iónicos selectivos, optimizan la aplicación de fertilizantes con ello se logra minimizar residuos químicos en el ambiente, contribuyendo a una gestión más sostenible de insumos agrícolas.

3. METODOLOGÍA

Para crear este modelo de emprendimiento circular, se propone un enfoque que combina investigación, tecnología y aplicación práctica. La metodología incluye revisar estudios previos, desarrollar modelos de IA, medir el impacto con indicadores, para luego simular con procesos logísticos.

3.1. Revisión bibliográfica sistemática

Para fundamentar cualquier emprendimiento circular, es esencial realizar una revisión bibliográfica sistemática de artículos científicos relevantes publicados en los últimos 10 años, centrados en temas de emprendimiento tecnológico, economía circular, inteligencia artificial y aplicación en sectores agrícolas. Las bases de datos investigadas fueron: Google Scholar, Scopus, ScienceDirect y Dialnet.

Los criterios de selección implicaron elegir aquellos artículos publicados en revistas indexadas, sobre estudios que han abordado la intersección entre IA y economía circular, investigaciones aplicadas a cadenas de suministro agrícolas, casos de estudio en países en desarrollo, y metodologías de optimización multiobjetivo. Esta revisión permitió identificar las mejores prácticas de tecnologías emergentes, además de conocer de lecciones aprendidas de proyectos similares a nivel internacional.

3.2. Diseño del modelo de optimización multiobjetivo

El proceso tanto de selección como configuración de técnicas de IA constituye un paso esencial para abordar problemas complejos relacionados con la optimización de recursos y la mitigación de riesgos climáticos en cadenas de suministro agrícolas.

Inspirados en los enfoques metodológicas de Ghiani et al. (2022) y de Erdoğdu et al. (2025), este estudio plantea el desarrollo de un modelo de optimización multiobjetivo que integre algoritmos evolutivos con técnicas de aprendizaje por refuerzo. El objetivo es abordar de manera simultánea: reducir costos operativos; fomentar al máximo la reutilización de residuos agrícolas; y, disminuir el impacto ambiental asociado al proceso. Para alcanzar estas metas, el modelo considerará diversas variables de decisión, tales como la cantidad de residuos generados por hectárea, distancias de recolección y procesamiento, costos logísticos, los precios de venta de mercado, condiciones climáticas y la capacidad de las plantas industriales.

3.3. Definición de indicadores de sostenibilidad

Para valorar de manera rigurosa la efectividad de un emprendimiento basado en principios de economía circular, resulta imprescindible definir indicadores claros y validados que permitan medir su impacto ambiental, económico y social. Esta evaluación debe

alinearse con estándares internacionales reconocidos, como los establecidos por las Food and Agriculture Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017), y la International Organization for Standardization (2015) en la serie ISO 14000. Este marco propone cuantificar la huella de carbono conforme al protocolo GHG Protocol (World Resources Institute, 2015), analizar el consumo de agua utilizando la metodología Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011), para llevar a cabo un análisis de ciclo de vida para identificar los impactos ambientales asociados. Así mismo, se considera relevante aplicar el enfoque propuesto por la Ellen MacArthur Foundation (2024) para medir la circularidad alcanzado por el emprendimiento.

Los indicadores más relevantes para evaluar un emprendimiento circular se organizan en tres dimensiones fundamentales. La ambiental contempla variables como la huella de carbono, huella hídrica, tasa de reciclaje y eficiencia energética, elementos que permiten valorar el impacto ecológico del proyecto. En la dimensión económica, que consideran indicadores financieros como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN) y el período de recuperación de la inversión, que ofrecen una visión sobre la rentabilidad. Por su parte, lo social, mide el número de empleos generados (tanto directos e indirectos), el porcentaje de inclusión de género y jóvenes, la relación entre el salario promedio y el salario mínimo sectorial, así como las horas de capacitación técnica impartidos por cada trabajador, lo que permite evaluar el grado de fortalecimiento del capital humano.

3.4. Metodología de recopilación de datos para casos de estudio

Para aplicar este modelo propuesto al caso de cultivo de banano en la provincia de El Oro, Ecuador, se plantea una estrategia de recolección de datos que combine fuentes primarias de investigación, mediante encuestas a productores, entrevistas con expertos y observaciones en campo. También se revise fuentes de información secundaria, lo que implica consultar estadísticas oficiales y estudios previos para conocer detalles como los volúmenes de residuos o los costos de producción.

Complementariamente, las fuentes de datos secundarios comprenden estadísticas oficiales del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), datos de la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (o la que gestione en la región de estudio) y estudios de impacto ambiental previos en la región.

Entre las variables clave a medir en este proceso se encuentran: los volúmenes de residuos generados por hectárea cosechada, los costos actuales de manejo de residuos, los precios de insumos agrícolas y energía, las condiciones climáticas y los patrones de comercialización, así como el consumo promedio de agua por tonelada de producto. La metodología de validación de estos datos se basa en la triangulación de fuentes (primarias y secundarias), la validación cruzada con expertos del sector, el análisis de consistencia temporal de los datos y la evaluación de la representatividad de la muestra

3.5. Metodología de simulación de logística inversa

3.5.1. Diseño del modelo de simulación

El diseño del modelo de simulación parte de una clara definición de los componentes del sistema. En este caso, contempla cuatro tipos de agentes principales: los productores, recolectores, centros de procesamiento, consumidores. Estos interactúan a través de eventos (generación de residuos, recolección, transporte, procesamiento). Además, el sistema requiere de recursos específicos (vehículos, personal, instalaciones de almacenamiento). Para evaluar el desempeño del sistema, se consideran variables como son el tiempo de ciclo, la utilización de recursos y los costos operativos.

Para aplicar la metodología de modelado, una opción es el software AnyLogic, que implica el modelado de agentes (definiendo sus comportamientos individuales, reglas de interacción y patrones de movimiento y toma de decisiones), la definición de eventos discretos (programando llegadas de residuos según distribuciones probabilísticas, modelando tiempos de procesamiento variables y simulando fallos de equipos y mantenimiento), y la dinámica de sistemas (modelando flujos de materiales, simulando acumulación de inventarios e incorporando retroalimentación del sistema).

Adicional, los emprendedores deben recopilar datos para la configuración de parámetros como el número de productores y su distribución geográfica, la capacidad de los centros de recolección, el tamaño y composición de la flota de transporte, la capacidad de procesamiento de las plantas industriales, y los patrones estacionales de generación de residuos.

3.5.2. Metodología de validación del modelo

La validación del modelo de simulación sigue un proceso riguroso, donde la verificación incluye la revisión de la lógica del modelo, pruebas de casos extremos y la verificación de balances de masa y energía. Luego, la validación se logra mediante la comparación con datos históricos, la revalidación con expertos del sector y el análisis de sensibilidad de parámetros. La fase de experimentación contempla el diseño factorial de experimentos, el análisis de escenarios tipo "¿qué pasa si?" y la optimización de configuraciones.

3.5.3. Métricas de evaluación

Las métricas de evaluación del desempeño del sistema de logística inversa se dividen en: indicadores de eficiencia operativa, como la tasa de utilización de recursos, el tiempo promedio de ciclo y el costo por unidad procesada; y, en indicadores de sostenibilidad, que miden el porcentaje de residuos recuperados, la reducción de emisiones por transporte y la eficiencia en el uso de combustibles.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caso de estudio: metodología para el sector bananero en Ecuador

Caracterización del sector bananero ecuatoriano

Ecuador es reconocido como el principal exportador mundial de banano. De acuerdo con una publicación de El Comercio, en enero de 2025, exportó 34,43 millones de cajas de banano, teniendo un crecimiento del 2,43% respecto a enero de 2024; esto representa un incremento de 883.000 cajas. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería el precio mínimo por caja de banano se ha estimado en US$7,25, lo que genera ingresos por US$240 millones para este año (Agencia EFE, 2025). La industria bananera ecuatoriana genera significativos volúmenes de residuos orgánicos que representan una oportunidad para la implementación de modelos de economía circular.

La caracterización de residuos bananeros indica que los principales tipos de residuos con potencial de valorización son los pseudotallos, que constituyen el componente principal con alto contenido de fibra natural; las hojas, ricas en nutrientes, especialmente potasio; el

raquis, una estructura con propiedades absorbentes útiles para diversas aplicaciones; y los frutos de rechazo, que son material orgánico apto para procesamiento industrial (Flores-Vargas et al., 2020). La composición específica y los volúmenes de estos residuos varían según las prácticas agrícolas locales y las condiciones climáticas de cada región productora.

4.2. Metodología de aplicación del modelo de optimización multiobjetivo

Para la aplicación del modelo de optimización en el sector bananero, se propone una metodología sistemática que permita integrar herramientas de IA desarrolladas con las características específicas del sector. Las variables consideradas para la optimización incluyen: superficie cultivada, rendimiento por hectárea, los volúmenes de residuos por unidad de producción, distancias entre fincas y centros de procesamiento, los costos de transporte y logística en la región, precios de mercado de productos derivados de residuos, condiciones climáticas y la estacionalidad de la producción.

La configuración metodológica del algoritmo genético para la optimización específica del sector bananero recomienda la definición de la función de fitness multiobjetivo específica para residuos agrícolas, el establecimiento de restricciones operativas del sector, la calibración de parámetros del algoritmo según la complejidad del problema, y la validación del modelo con datos históricos disponibles. Se propone evaluar múltiples escenarios de implementación: un escenario de maximización económica configurado para maximizar el retorno de inversión; un escenario de optimización ambiental enfocado en minimizar el impacto ambiental; y un escenario de equilibrio multiobjetivo que balancee los objetivos económicos, ambientales y sociales.

4.3. Metodología de simulación de logística inversa

Se propone una metodología estructurada para el desarrollo de modelos de simulación que permitan evaluar la eficiencia de los sistemas de recolección y procesamiento de residuos agrícolas. Los componentes metodológicos clave del modelo de simulación deben considerar el modelado de agentes, representando a los productores agrícolas como agentes independientes con comportamientos diferenciados; la definición de centros de acopio, estableciendo puntos estratégicos de recolección según criterios de optimización espacial; la configuración de la flota de transporte, dimensionando las

capacidades de transporte según los volúmenes esperados; y las plantas de procesamiento, modelando facilidades con diferentes tecnologías y capacidades.

El modelo de simulación debe incorporar la naturaleza aleatoria de diversos procesos. Esto incluye la generación diaria de residuos según patrones estacionales y climáticos, los tiempos de transporte variables según las condiciones de infraestructura, la disponibilidad de equipos y personal según factores operativos, y las fluctuaciones en la demanda de productos finales. La metodología debe establecer indicadores claros para evaluar la eficiencia del sistema, como el tiempo promedio de recolección de residuos, la utilización de recursos de transporte, el porcentaje de residuos efectivamente procesados, los costos unitarios de operación y la eficiencia del procesamiento por unidad de tiempo.

La metodología debe establecer indicadores claros para evaluar la eficiencia del sistema, estos son:

- Tiempo promedio de recolección de residuos.
- Utilización de recursos de transporte.
- Porcentaje de residuos efectivamente procesados.
- Costos unitarios de operación.
- Eficiencia del procesamiento por unidad de tiempo.

4.4. Guía metodológica para emprendedores jóvenes

Los pasos para desarrollar un emprendimiento circular se pueden estructurar en tres partes o fases:

1) Fase de diagnóstico y planificación:
- Identificación de oportunidades.
- Estudio de factibilidad preliminar.
- Formación del equipo emprendedor.

2) Fase de desarrollo tecnológico
- Implementación de sistemas IoT.
- Desarrollo de algoritmos de optimización.
- Simulación y pruebas piloto.

3) Fase de implementación y escalamiento

- Construcción de infraestructura.
- Operación comercial.
- Monitoreo y optimización continua.

Al respecto, los emprendedores deben desarrollar una estrategia integral de financiamiento que considere múltiples fuentes, según Constantino y Saade (2024), para el Banco Interamericano de Desarrollo esto incluye el financiamiento público (programas gubernamentales de apoyo al emprendimiento y la innovación), la banca de desarrollo (instituciones especializadas en financiamiento de proyectos sostenibles), el capital privado (fondos de inversión con enfoque en sostenibilidad e impacto social) y la cooperación internacional (programas de organismos multilaterales y bilaterales.

Para estructurar adecuadamente el financiamiento, se recomienda seguir las mejores prácticas internacionales, como las propuestas por la International Finance Corporation, según Projet (2024), esto implica un análisis de requerimientos de capital, diferenciando entre capital de trabajo e inversión fija; una evaluación de la estructura óptima, buscando un balance entre capital propio y financiamiento externo; un cronograma de desembolsos, alineado con las fases de implementación del proyecto; y la identificación de garantías y colaterales como mecanismos de mitigación de riesgo.

Adicional, los emprendedores deben conocer el marco de incentivos fiscales disponible según la legislación nacional vigente, como el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (2010), que puede ofrecer beneficios para nuevas inversiones productivas, incentivos para tecnologías limpias y eficiencia energética, beneficios sectoriales específicos para agricultura y agroindustria, e incentivos territoriales para zonas menos desarrolladas.

4.5. Marco metodológico regulatorio y de certificaciones

El cumplimiento del marco regulatorio ambiental requiere un enfoque sistemático basado en la normativa nacional e internacional. Esto implica el cumplimiento del marco legal nacional, como el Código Orgánico del Ambiente (2017) y su reglamento; la alineación con estándares y convenciones internacionales ratificadas por Ecuador; el cumplimiento de normas técnicas ecuatorianas (NTE INEN) aplicables; y la consideración de normativas específicas del sector agrícola.

La obtención de certificaciones debe seguir un proceso estructurado según los estándares internacionales correspondientes. Se busca la certificación ISO 14001 (Sistemas de gestión ambiental) mediante su implementación según la International Organization for Standardization (2015), y la ISO 50001 de Gestión de energía, siguiendo la metodología establecida de la misma organización (ISO, 2018). Adicionalmente, se consideran las certificaciones orgánicas establecidas por según la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (2025) que requieren el cumplimiento de estándares orgánicos nacionales e internacionales, así como las referencias de Fairtrade (2025) que expone las certificaciones de comercio justo, alineándose con los estándares internacionales.

5. CONCLUSIONES

La investigación realizada demuestra que la integración de inteligencia artificial con principios de economía circular constituye un marco metodológico robusto para impulsar emprendimientos sostenibles en el sector agrícola. Entre los principales hallazgos metodológicos destaca la viabilidad de integración tecnológica, ya que los algoritmos evolutivos y el aprendizaje por refuerzo pueden optimizar eficazmente decisiones complejas en sistemas circulares. Se destaca la aplicabilidad sectorial del marco metodológico desarrollado, que es adaptable a diferentes contextos agrícolas mediante la calibración de parámetros específicos y la incorporación de variables locales.

El marco metodológico propuesto contribuye significativamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible mediante herramientas específicas que facilitan el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), a través de metodologías de evaluación de impacto en la generación de empleo y el desarrollo económico local. Apoya el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), al incorporar sistemáticamente tecnologías 4.0 en sectores tradicionales. Contribuye al ODS 12 (Producción y consumo responsables), por medio de herramientas de optimización que minimizan residuos y maximizan la eficiencia. Además, se alinea con el ODS 13 (Acción por el clima), a través de metodologías de cuantificación y reducción de emisiones.

Para los emprendedores jóvenes, se recomienda en primer lugar el desarrollo de competencias integradas, invirtiendo en capacitación que combine conocimientos técnicos en IA con una comprensión profunda de los principios circulares y la gestión empresarial.

En segundo lugar, se aconseja la adopción de enfoques sistémicos, utilizando las herramientas metodológicas propuestas para evaluar integralmente los impactos económicos, ambientales y sociales desde las fases iniciales del emprendimiento. Una tercera recomendación es la validación iterativa, implementando ciclos de validación continua con las metodologías de simulación y optimización para ajustar estrategias según resultados reales. Adicional, se subraya la importancia de la construcción de alianzas estratégicas, desarrollando colaboraciones sistemáticas con instituciones académicas, organizaciones del sector privado y entidades gubernamentales, siguiendo las metodologías de articulación propuestas.

Para los formuladores de política pública, se recomienda el desarrollo de marcos habilitantes, utilizando las metodologías de evaluación de impacto propuestas para diseñar políticas públicas basadas en evidencia que faciliten la implementación de modelos circulares. En segundo lugar, se sugiere la creación de incentivos alineados, implementando sistemas de incentivos que reconozcan los beneficios múltiples de los emprendimientos circulares utilizando las métricas de evaluación desarrolladas. Además, se destaca la importancia del fortalecimiento de capacidades institucionales, desarrollando programas de capacitación institucional basados en las metodologías propuestas para mejorar la comprensión de tecnologías IA y economía circular.

Las líneas futuras de investigación identificadas incluyen la aplicación de blockchain para explorar su uso en la mejora de la trazabilidad y transparencia en cadenas de suministro circulares. Otra área es la inteligencia artificial explicable, buscando desarrollar algoritmos de IA más interpretables que faciliten la toma de decisiones por parte de emprendedores con formación técnica limitada. También se propone el análisis de ciclo de vida integral, implementando metodologías ACV más comprehensivas que consideren impactos sociales además de ambientales y económicos. Por último, se sugiere investigar modelos de negocio colaborativos que promuevan la cooperación entre múltiples emprendimientos circulares.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia EFE. (23 de febrero de 2025). Ecuador, primer exportador mundial de banano, abre el 2025 con un incremento del 2,43 %. *Ecuador, primer exportador mundial de*

banano, abre el 2025 con un incremento del 2,43 %. https://www.elcomercio.com/actualidad/mundo/ecuador-primer-exportador-mundial-banano-2025-incremento-ventas/

AGROCALIDAD, A. (2025). *Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario*. https://www.gob.ec/arcfz

Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente.* Registro Oficial Suplemento 983, 12 abril 2017. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of things and supply chain management: a literature review. *International Journal of Production Research, 57*, 15-16. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140

(2010). Código Organico de la Produccion, Comercio e Inversiones, Copci. Registro Oficial Suplemento 351 29 diciembre 2010. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-04/CODIGO%20ORGANICO%20DE%20LA%20PRODUCCION%2C%20COMERCIO%20E%20INVERSIONES%20COPCI.pdf

Constantino, R., & Saade, M. (2024). *Financiamiento de la infraestructura para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).* https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/56c4dce0-b116-442a-8695-8b648612aa01/content

Ellen MacArthur Foundation. (4 de marzo de 2024). *Medición e información para la economía circular. Economía circular*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/medicion/vision-general

Erdoğdu, A., Dayi, F., Yildiz, F., Yanik, A., & Ganji, F. (2025). Combining Fuzzy Logic and Genetic Algorithms to Optimize Cost, Time and Quality in Modern Agriculture. *Sustainability, 17*(7). https://doi.org/10.3390/su17072829

Fairtrade. (2025). *Estándares Fairtrade*. Obtenido de https://www.fairtrade.net/iberica-es/por-que-fairtrade/como-lo-hacemos/estandares-fairtrade.html

FAO, O. (2017). *Huella de agua de la industria bananera.* Food and Agriculture Organization. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a65d5e57-81b3-4efd-97a6-6a111b2b2ad0/content

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Jan , E. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production, 143*(1), 757-768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Ghiani, G., Manni, A., & Manni, E. (2022). A scalable anticipatory policy for the dynamic pickup and delivery problem. *Computers & Operations Research, 147*. https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105943

Grand View Research. (2024). *Big Data Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By Technology (Analytics, Database, Visualization, Distribution Tools, Others), By Service, By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030*. Obtenido de https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/big-data-industry

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard.* Earthscan. Obtenido de https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001: Environmental management systems—Requirements with guidance for use.* Obtenido de https://www.iso.org/standard/60857.html

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 50001: Energy management systems—Requirements with guidance for use*. https://www.iso.org/standard/69426.html

Onyeaka, H., Akinsemolu, A., Miri, T., Darlington, N., Duan, K., Pang, G., . . . Ugwa, C. (2025). Artificial intelligence in food system: Innovative approach to minimizing food spoilage and food waste. *Journal of Agriculture and Food Research, 21*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101895

Projet, B. W. (2024). *What is the International Finance Corporation (IFC)?* 3 julio 2024. https://www.brettonwoodsproject.org/2024/07/what-is-the-international-finance-corporation-ifc/

Shoaib, M., Zhang, S., Ali, H., Ahmad, M., & Khan, M. (2025). Integrating circular economy while adopting digital twin for enhancing logistics efficiency: a hybrid Fuzzy Delphi-FUCOM based approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-43. doi: https://doi.org/10.1080/13675567.2025.2451750

Waller, M., & Fawcett, S. (2013). Data Science, Predictive Analytics, and Big Data: A Revolution That Will Transform Supply Chain Design and Management. *Journal of Business Logistics, 34*(2), 77-84. doi: https://doi.org/10.1111/jbl.12010

World Resources Institute. (2015). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.* https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf

Zhang , Q., Ullah, A., Ashraf , S., & Abdullah, M. (2024). Synergistic Impact of Internet of Things and Big-Data-Driven Supply Chain on Sustainable Firm Performance. *Sustainability, 16*(13). doi: https://doi.org/10.3390/su16135717