

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i1.1937>

Fusión de IA, IoT y Big Data para Superar la Brecha de Interoperabilidad en Latinoamérica

Fusion of AI, IoT, and Big Data to Overcome the Interoperability Gap in Latin America

Tamara Briones Lascano

tbriones@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-1706-8880>

Universidad Agraria del Ecuador

Guayaquil-Ecuador

Artículo recibido: 10 diciembre 2025 -Aceptado para publicación: 18 enero 2026

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La migración a la Agricultura de Precisión (AP) en Latinoamérica y el Caribe (ALC) enfrenta un desafío importante la fragmentación de datos, derivado de la ausencia continua de interoperabilidad semántica y sintáctica entre sistemas agronómicos distintos (AgGateway, 2020). Esta problemática frena la total capitalización del potencial ofrecido por la abundante información generada por el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de Big Data. Este estudio, basado en una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) (Blanco Pena, 2024), sugiere un Marco Conceptual Integrado (MCI) que entrelaza la Inteligencia Artificial (IA), IoT y Big Data para resolver esta complicación, con el fin de mejorar la administración de los recursos naturales y la producción agrícola regional (Castillo Ortiz et al., 2025). El principal descubrimiento indica que la respuesta tecnológica se encuentra en la ejecución de una Capa de Interoperabilidad Semántica (CIS) cimentada en ontologías y el concepto del Internet de Todo (IoE), empleando IA, no sólo para análisis extensivos, sino también para inferir conocimientos en tiempo real a partir de datos contextualizados (El-Dosuky, 2025). La asimilación satisfactoria de este esquema reclama vencer obstáculos estructurales en América Latina y el Caribe, ante todo, la inyección inmediata de capital en la conectividad rural, así como, también la elaboración de políticas públicas integradoras y bien específicas, previniendo la exacerbación de la diferencia digital existente entre la agroindustria y la agricultura familiar (Cepal, 2024).

Palabras clave: inteligencia artificial, agricultura de precisión, big data agrícola

ABSTRACT

The migration to Precision Agriculture (PA) in Latin America and the Caribbean (LAC) faces a significant challenge: data fragmentation, stemming from the ongoing lack of semantic and syntactic interoperability among different agronomic systems (AgGateway, 2020). This issue hinders the full capitalization of the potential offered by the abundant information generated by

the Internet of Things (IoT) and Big Data analytics. This study, based on a Systematic Literature Review (SLR) (Blanco Pena, 2024), suggests an Integrated Conceptual Framework (ICF) that interweaves Artificial Intelligence (AI), IoT, and Big Data to address this complication, with the aim of improving natural resource management and regional agricultural production (Castillo Ortiz et al., 2025). The main finding indicates that the technological solution lies in implementing a Semantic Interoperability Layer (SIL) grounded in ontologies and the Internet of Everything (IoE) concept, employing AI not only for extensive analyzes but also to infer knowledge in real time from contextualized data (El-Dosuky, 2025). The successful assimilation of this framework requires overcoming structural obstacles in Latin America and the Caribbean, above all the immediate injection of capital into rural connectivity, as well as the development of inclusive and highly specific public policies to prevent the exacerbation of the existing digital divide between agribusiness and family farming (ECLAC, 2024).

Keywords: artificial intelligence, precision agriculture, agricultural big data

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI plantea dilemas complejos para la agricultura mundial, exigiéndose doblemente: asegurar el abasto alimenticio de una demografía en expansión y, a la par, acomodarse a la intensificación del cambio climático, que suscita inéditos retos para cultivos y biomas (Coq et al., 2024).

Esta apremiante necesidad ha catalizado el auge de la Agricultura Digital (AD) y la Agricultura de Precisión (AP). La AP se sirve de tecnologías punteras tales como la IoT, Big Data, e IA para la administración puntual de cultivos y ganadería, posibilitando incrementar la producción de modo sostenible y al mismo tiempo recortar costos y reducir emisiones directas de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El Smart Farming o Agricultura Inteligente, en esencia, se estructura como un ciclo de manejo ciberfísico donde la información y la comunicación adquieren un rol fundamental en la toma de decisiones, tiempo real (Wolfert et al., 2017).

América Latina y el Caribe (ALC) se sitúa ante un momento coyuntural estratégico, en pos de aprovechar la transformación digital como un impulsor del progreso; procurando así, romper los ciclos históricos de estancamiento económico y desigualdad estructural (Cepal, 2024).

La transformación digital ostenta el poder de redefinir radicalmente las praxis productivas, el acceso a los medios de producción y, de manera crítica, los instrumentos de políticas públicas dirigidos al ámbito agropecuario según (Coq et al., 2024). Sin embargo, la región requiere urgentemente una integración estratégica de la IA en sus políticas productivas si ambicionamos una mejora tangible, a nivel regional, tanto en la productividad como en la competitividad (Cepal, 2024).

A pesar del auge de los dispositivos IoT, incluidos sensores, equipos de telemetría y drones, que capturan masiva cantidad de datos en el agro, el potencial pleno de estas tecnologías aún no se realiza completamente. De hecho, la información agronómica sufre fragmentación, atrapada en silos informáticos o dispersa en variados formatos de archivos privados, resultado natural de la evolución histórica de la industria (AgGateway, 2020). Dicha fragmentación obstaculiza la extracción completa de valor, reduciendo así el potencial predictivo y de optimización que podría emanar de la sinergia entre el Big Data y la IA (Wolfert et al., 2017).

La data que se obtiene del hardware de IoT, si no es interpretada contextualmente por los sistemas de análisis IA, por la diseminación semántica, el big data deviene ruido perjudicial para modelos de inferencia. El revés en la asimilación extensiva de la Agricultura de Precisión sostenible en ALC se relaciona sin miramientos con esta deficiencia, interrumpiendo el ciclo ciberfísico esencial del Smart Farming (Han, 2023).

Este artículo, con carácter de revisión, investiga esta circunstancia partiendo de la siguiente Pregunta científica: ¿Cómo se pueden combinar IA, IoT y Big Data para optimizar sistemas agrícolas y superar la brecha de interoperabilidad en América Latina? El objetivo principal se

encamina hacia la proposición de un Marco Conceptual Integrado que aproveche los fundamentos de la Web Semántica y la Inteligencia Artificial, afín de propiciar la interoperabilidad de datos agrícolas fiables en el entorno Latinoamericano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ecosistema IoT, en lo que se refiere a la agricultura de precisión (AP), es la infraestructura de obtención de datos; a través de redes de sensores inalámbricos (WSN), drones y dispositivos interconectados (Han, 2023).

Los datos producidos, sean masas en volumen, heterogéneos en variedad, velocidad en captura, variables en calidad (Wolfert et al., 2019).

El uso de Big data permite estudiar cantidades masivas de datos para poder identificar patrones, tendencias y correlaciones a través de su análisis que sean críticos para la toma de decisiones óptimas y mejorar, además, las operaciones agronómicas (Wolfert et al., 2017). A partir de estas tecnologías, se busca una optimización sostenible y uno de los ejemplos claros es la aplicación variable de pesticidas (VRPA) que incentiva el menor impacto negativo en el medio ambiente gracias a que reduce el uso de agroquímicos y la demanda de combustibles fósiles (Castillo Ortiz et al., 2025).

La IA mediante sofisticados métodos como el Machine Learning y el Deep Learning, se vuelve la herramienta clave que convierte a estos desechos, el IoT y Big Data, en conocimiento útil (Han, 2023)

La inteligencia artificial es clave para la deducción del conocimiento en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones autónomas en sistemas ciberfísicos con respuestas dinámicas a las condiciones cambiantes del entorno (El-Dosuky, 2025). Adicionalmente, de por sí la capacidad de la IA de manejar la complejidad innata de los agroecosistemas hace además su enmalle con el flujo de datos un requerimiento indispensable para la optimización de las técnicas y métodos agrícolas actuales por sí sola (Coq et al., 2024).

La interoperabilidad en el agro se da a dos niveles fundamentales: los que condicionan la posibilidad de los sistemas digitales de comunicarse y compartir datos. La interoperabilidad sintáctica, en primera instancia, se relaciona con la compatibilidad que guardan los formatos, protocolos y las estructuras de datos que utilizan los diferentes sistemas. El Agricultural Data Application Programming Toolkit (ADAPT), creado por AgGateway, propone una solución que establece un modelo unificado de objetos. Este se ofrece a través de múltiples plugins de conversión de código abierto y de patente, entre los que se encuentra el iso 11783. Este último tiene como objetivo la comunicación entre los sistemas FMIS (AgGateway, 2020).

Interoperability is essential at this instance. Permitirá, de forma obligatoria, la interoperatividad de datos entre distintas interfaces de software y hardware a nivel de archivo. Se facilita la integración operacional básica en los sistemas de agricultura digital.

La interoperabilidad semántica, que siempre ha sido el talón de Aquiles de la tecnología, es un problema mayor. En esta fase, se enfoca en la capacidad de los sistemas para interpretar y ajustar el significado de los datos intercambiados. A pesar de que dos sistemas tengan la misma forma sintáctica, pueden diferir en el sentido que dan a un mismo término, es el caso de “humedad alta” en un contexto de riego (Sarli et al., 2018). El significado de una palabra puede depender de su contexto en la oración, así como también del contexto de otras palabras en la oración en sí misma.

Las claves para atenuar esta situación están en los lineamientos de la Web Semántica, que utiliza ontologías para evidenciar el conocimiento y las relaciones lógicas entre conceptos concretos en un dominio (Niño-Zambrano et al., 2020).

Al aplicar estas técnicas semánticas sobre dispositivos del Internet de las Cosas, se hace un paso más al Internet de Todo. Es donde los datos tienen significado dentro de la propia red, permitiendo razonamiento automatizado (El-Dosuky, 2025). Esta nueva tecnología abre la puerta a una era de inteligencia distribuida, donde los dispositivos no solo recopilan datos, sino que también los interpretan y contextualizan en tiempo real.

Se reconoce el modelo existente, con sus sistemas cerrados y propios de la gran agroindustria, acentúa las dificultades de interoperabilidad y frena el crecimiento de ecosistemas digitales abiertos e inclusivos (Wolfert et al., 2017). Si la interoperabilidad semántica no se fomenta a través de estándares abiertos y colaborativos, América Latina seguirá en un estado de dependencia tecnológica, incrementando las diferencias y obstaculizando la soberanía digital agrícola (Coq et al., 2024).

La cuestión de la interoperabilidad en la agricultura se revela en dos niveles importantes, determinando la eficiencia de la comunicación e intercambio de información entre sistemas digitales.

Primeramente, la interoperabilidad sintáctica está intrínsecamente ligada a la compatibilidad existente entre formatos, protocolos, y las estructuras de datos, empleados por los sistemas dispares. Alternativas como el Agricultural Data Application Programming Toolkit ADAPT, una creación de AgGateway, enfrentan esta faceta al instituir un modelo de objetos común y entregar tanto plugins de conversión, de fuentes abiertas, como propietarios. Sobresale notablemente el estándar ISO 11783, concebido para simplificar la comunicación entre los sistemas de gestión agrícola, FMIS a FMIS (AgGateway, 2020).

Este grado de interoperabilidad resulta imprescindible para confirmar que software y hardware disímiles sean capaces de permutar información a nivel de archivo. Con esto se da paso a la integración operativa fundamental en los ecosistemas agrícolas digitales.

Contrariamente, la interoperabilidad semántica, se considera el verdadero "cuello de botella" del proceso de integración tecnológica. Constituye un reto de mayor magnitud, por

decirlo de alguna manera. Este nivel se ocupa de la capacidad de los sistemas para interpretar y compartir la misma significación de los datos que intercambian.

A pesar de que dos sistemas exhiben una similitud formal en su estructura sintáctica, se percibe una divergencia significativa al asociar distintos significados a un término idéntico; un claro ejemplo de esto se observa en la interpretación de "humedad alta" en diversos esquemas de riego según Sarli et al. 2018. Dicha ambigüedad semántica perjudica, de forma sustancial, la habilidad de la Inteligencia Artificial (IA) para realizar razonamientos e inferencias correctas a partir de la información existente.

La resolución de este desafío se fundamenta en los preceptos centrales de la Web Semántica, la cual emplea ontologías con el fin de representar de manera explícita el conocimiento y las relaciones lógicas entre conceptos dentro de un área específica; se respalda por Niño-Zambrano et al. 2020. Cuando estas técnicas semánticas se incorporan en los dispositivos del Internet de las Cosas (IoT), el sistema evoluciona hacia el concepto del Internet de Todo (IoE) en este escenario los datos adquieren significado en la red, favoreciendo el razonamiento automático sobre la información disponible, como evidencia El-Dosuky, 2025. Este progreso propicia el inicio de una nueva era de inteligencia distribuida, donde los dispositivos no únicamente capturan datos, sino que también interpretan y contextualizan la información inmediatamente.

Finalmente, se observa que el modelo actual, definido por sistemas cerrados y propios, comunes en la vasta agroindustria, intensifica los problemas de interoperabilidad, y obstaculiza el crecimiento de ecosistemas digitales abiertos e incluyentes (Wolfert et al. 2017). Sin el impulso de la interoperabilidad semántica, mediante estándares abiertos y de colaboración, la región Latinoamericana, se enfrentara con un panorama de dependencia tecnológica que amplía las divisiones de desigualdad, y limitará la soberanía digital del sector agrícola (Coq et al. 2024).

En América Latina y el Caribe (ALC) la transformación digital tiene lugar en un contexto particular, distinguido por una "situación dual", en la que la adopción de tecnologías avanzadas coexiste, con serias limitaciones de acceso y empleo de herramientas digitales por parte de los agricultores pequeños y medianos. Esta dualidad tecnológica genera un panorama de desigualdad estructural, donde la capacidad de innovar y modernizar, se centra en la gran agroindustria. Los agricultores familiares, experimentan importantes restricciones de conectividad, formación y acceso a infraestructuras tecnológicas elementales (Coq et al. 2024).

Considerando lo anterior, este fenómeno supone un peligro tangible de profundización de la disparidad tecnológica y productiva. Esto, entre la agricultura familiar y las grandes corporaciones agroindustriales, socavando los preceptos de equidad y sostenibilidad en la digitalización del sector (Coq et al., 2024).

Los problemas inherentes a este proceso trascienden la esfera tecnológica englobando aspectos institucionales e infraestructurales. A nivel institucional, es patente la descoordinación interinstitucional. Esto junto con fallas en la sistematización de la información y la carencia de

bases de datos fidedignas que sustenten la toma de decisiones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2024). La CEPAL advierte además la inexistencia de instituciones expertas. Ellas, con autoridad reguladora y capacidades técnicas necesarias para promover y fiscalizar la implementación de tecnologías basadas en inteligencia artificial (Cepal, 2024).

Respecto a la infraestructura, la integración del Internet de las Cosas (IoE) y las estrategias de inteligencia artificial exigen una conectividad sólida y acceso global, aunado a una expansión de las competencias en computación de alto rendimiento y plataformas descentralizadas, facetas en que la región revela deficiencias estructurales considerables (Cepal, 2024).

Por medio de la combinación de IA-IoT-Big Data para cerrar la fosa de interoperabilidad. Se logra al trabajar en cuatro capas interconectadas que orquestan el significado de los datos. Así, se transforman los datos heterogéneos en decisiones agroecológicas, sustentables.

La interoperabilidad no es un añadido en la arquitectura del MCI, sino que actúa como una capa funcional esencial que es necesaria para el análisis avanzado.

La propuesta de arquitectura para integrar tecnologías inteligentes en sistemas agrarios se articula en cuatro capas funcionales que se condicionan mutuamente. Aseguran que los datos fluyan sin interrupción desde lo que pasa en la captura hasta la acción. En la Capa I, Adquisición y Edge, se utilizan tecnologías IoT como sensores, redes de sensores inalámbricas (WSN), drones y gateways IoT, cuya finalidad es captar datos heterogéneos para preprocesar en el campo. Esta fase establece las bases para la interoperabilidad en la red y los protocolos de transporte. Así se garantiza la comunicación precisa entre los dispositivos distribuidos.

Capa II, Interoperabilidad Semántica, o CIS tiene como base ontologías regionales, los Datos Enlazados, el Internet de las Cosas e Internet de las Cosas. El propósito de todo el esfuerzo es normalizar el significado, enriquecer el contexto y tratar la explicitud de la incertidumbre (El-Dosuky, 2021).

El propósito esencial de ese proceso es subsanar el vacío semántico, que significa unificar el significado y el contexto de los datos (Niño-Zambrano et al. 2020), de tal manera que la información tome valor interpretativo.

A continuación, la Capa III que utiliza Análisis e Inferencia de IA para convertir el dato semántico en conocimiento predictivo y prescriptivo, a través de Big Data Analytics, Machine Learning, Deep Learning y razonamiento semántico (Han, 2023).

En el desarrollo de modelos robustos de optimización se utilizan estos datos interoperables y contextualizados (Castillo Ortiz et al., 2025).

La Capa IV Decisión y Acción cierra el ciclo ciberfísico mediante sistemas de soporte de decisiones (SSD), actuadores y robótica, haciendo que se efectúen los comandos óptimos en el

terreno, en cuanto a las aplicaciones que sean. Permiten que las inferencias de IA se conviertan en intervenciones agrícolas precisas y localizadas.

La Capa II CIS, esencial al Marco de la Computación de la Información MCI, se fundamenta en dotar a los dispositivos con facultades semánticas esto es el IoE (El-Dosuky, 2025).

El centro de la CIS se manifiesta en el cultivo de las Ontologías Regionales. No solamente deben replicar ideas universales de la agricultura, sino también ideas agronómicas que son singulares a Latinoamérica, incluyendo la variedad de cultivos locales, las plagas endémicas y las costumbres tradicionales. Estas ontologías funcionan como una Red de Ontologías (Sarli et al, 2018) que suministra un vocabulario compartido a todos los sistemas.

Un componente central de la CIS es la fusión de métodos de razonamiento en condiciones de incertidumbre (El-Dosuky, 2025). Como los datos de campo del IoT son naturalmente turbulentos o incompletos, el esquema debe estar en posición de controlar esta incertidumbre de forma lógica, lo cual es primordial para aplicaciones agrícolas potentes y para la optimización climática (Coq et al, 2024). La CIS aprovecha y acomoda los datos que ya han sido formalizados sintácticamente por instrumentos previos, tales como ADAPT e ISO 11783 (AgGateway, 2020), aumentando el nivel de interoperabilidad de sintáctico a semántico.

La Capa III funciona partiendo de la base que la IA, debe ir más allá del mero procesamiento del Big Data, enfatizando la necesidad de que estos datos sean semánticamente ricos (El-Dosuky, 2025). Al dotar a la IA de datos con significado manifiesto, se obtiene mayor exactitud en sus predicciones.

un algoritmo de Machine Learning que distingue con agudeza el sentido de una lectura de humedad, gracias a la ontología que proporciona contexto indicando un suelo arenoso, en una región semiárida, un saber contextualizado, en lugar de una simple variable numérica desprovista de contexto. Esta combinación hace posible que la IA efectúe un razonamiento más complicado y prescriptivo, coadyuvando en la gestión eficiente de recursos y la adaptación a problemas ambientales regionales, (Castillo Ortiz et al., 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La propuesta del MCI, ofrece una respuesta corta a la pregunta científica. La mejora de los sistemas agrarios mediante la aplicación de inteligencia artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), Big Data y Big Knowledge (BK), se completa con la Capa de Interoperabilidad Semántica (CIS) que convierte la heterogeneidad de los datos en Internet de las Cosas (IoE).

Dicha manera se fortifica en la certeza de que la IA añada un razonamiento más complejo, robusto, y preciso, en especial en lo tocante a la gestión de la incertidumbre de los datos del campo. Este manejo es eficiente, lo que permite utilizar mejor los recursos naturales y adaptarse mejor a los cambios climáticos (Castillo Ortiz et al., 2025).

Es evidente la urgente necesidad de esta capa semántica. La inversión en soluciones sintácticas ADAPT (AgGateway, 2020) solo resuelve la comunicación de formatos de archivos, pero no se garantiza que la IA derive el mismo significado de los datos. Para que la IA cumpla su promesa de generar un conocimiento útil y aplicable a la realidad, es necesario que opere con datos contextualizados. Por eso, la CIS será un elemento clave en esta arquitectura (El-Dosuky, 2025).

Aun así, la implementación del MCI en la región de América Latina y el Caribe (ALC) enfrenta desafíos importantes.

Aunque la tecnología, que permite solventar la interoperabilidad sintáctica ya existe (AgGateway, 2020), la incorporación de un marco semántico demanda un esfuerzo coordinado para la estandarización ontológica, cosa que es necesaria. Este empeño colisiona con deficiencias institucionales, sumadas a una sistematización precaria de bases de datos confiables en la región (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, 2024).

Un riesgo crucial, de carácter socioeconómico, estriba en la posibilidad de que la puesta en marcha del MCI agrave las desigualdades preexistentes. Si el desarrollo de ontologías, así como el acceso a la tecnología IoE, se circunscriben a la agroindustria, la brecha digital entre esta y la agricultura familiar, oh sí, se agrandará considerablemente (Coq et al., 2024). Históricamente la ausencia de interoperabilidad en la región ha favorecido el florecimiento de sistemas cerrados y propietarios (Wolfert et al., 2017), afianzando la dependencia tecnológica. Por lo tanto, la gobernanza de datos abiertos, aunada a la creación de ontologías regionales abiertas, son esenciales para democratizar el conocimiento agronómico.

La factibilidad del Modelo Conceptual Integrado, MCI, no se basa primordialmente en la tecnología disponible; más bien, reside en la fortaleza de su gobernanza institucional, y en la eficacia de las políticas públicas que lo respaldan. La falta de una autoridad central, dedicada a la Inteligencia Artificial, IA, y la exigua asignación presupuestaria para proyectos de digitalización, (Cepal, 2024), complica la construcción de un vocabulario ontológico común, y el fondeo de la infraestructura tecnológica esencial para su implementación exitosa. Este vacío institucional opera como un obstáculo para la interoperabilidad, así como la consolidación de ecosistemas digitales agrícolas perdurables.

En primer lugar, la infraestructura priorizada es el pilar central para asegurar la operatividad del MCI. El Internet de Todo, IoE, al igual que el Big Data, necesitan una infraestructura resistente, y un acceso universal, que faciliten la transmisión, y procesamiento de enormes cantidades de información. Invertir en conectividad rural de alto desempeño, emerge como un requisito imprescindible para el funcionamiento de la Capa I del modelo, que se enfoca en la recopilación y preprocesamiento de datos in situ, (Cepal, 2024).

En una segunda instancia, la gobernanza de datos junto con el desarrollo de ontologías abiertas, se erigen como un componente primordial en la estrategia de política pública. Más allá de centrarse únicamente en plataformas tecnológicas, es menester invertir en la creación y el sostenimiento de ontologías públicas, focalizadas especialmente en el ámbito agrícola de Latinoamérica y el Caribe, conforme lo sostienen Coq y sus colaboradores en 2024. Dicho proceso demanda la conformación, o el robustecimiento, de instituciones especializadas. Es indispensable dotarlas de la autoridad técnica y regulatoria idónea para gestionar el complejo ecosistema de IA y datos (Cepal,2024).

Para concluir, la inclusión y extensión digital emergen como factor crucial para prevenir el agravamiento de la brecha tecnológica actual. Se sugiere una ampliación de los programas de extensión digital, donde se proporcione acompañamiento y capacitación experta a las micro, pequeñas, y medianas empresas (MiPyME), aunado a los productores familiares. El propósito es claro: allanar el camino hacia la adopción efectiva de tecnologías digitales, sobre todo en los entornos rurales, un punto importante, remarcado por la Cepal, nuevamente en 2024.

CONCLUSIONES

Superar la brecha de interoperabilidad, representa el desafío más apremiante para la agricultura latinoamericana. De esta manera, logrará capitalizar la convergencia de IA, IoT, y Big Data, impulsando la optimización productiva, además de la gestión sostenible de los recursos.

El Marco Conceptual Integrado (MCI), sustentado en la arquitectura del Internet de Todo (IoE) y la Capa de Interoperabilidad Semántica (CIS), esto es, basada en ontologías, ofrece la solución teórica primordial. En realidad, esta capa semántica, es el elemento clave funcional que convierte datos heterogéneos en conocimiento contextualizado, permitiendo que la IA, opere como motor de optimización preciso. De hecho, la eficacia de la IA, está intrínsecamente ligada a esta calidad semántica, favoreciendo el razonamiento robusto, incluso lidiando con la incertidumbre del campo.

Finalmente, la implementación exitosa y equitativa del MCI en Latinoamérica, amerita medidas decisivas en los planos políticos e institucionales: se necesita priorizar y financiar la conectividad rural y construir un marco normativo, junto con una institucionalidad especializada que impulse ontologías abiertas y garantice la inclusión de todos los agentes del ecosistema agrícola

REFERENCIAS

- AgGateway. (2020). ADAPT (Agricultural Data Application Programming Toolkit) Eliminando Barreras al uso de Datos Agrícolas. AgGateway. URL: https://aggateway.org/Portals/1010/WebSite/News/AgGateway_ADAPT_Toolkit_1030_18_Spanish.pdf?ver=2020-08-06-122510-477
- AgGateway. (n.d.). Standards & Guidelines. AgGateway. URL: <https://aggateway.org/GetConnected/StandardsGuidelines.aspx>
- Balafoutis, A., et al. (2017). Variable Rate Pesticide Application (VRPA) and environmental impact reduction. *Journal of Cleaner Production*, 140(1), 32-41. URL:
- CEPAL. (2024). La Transformación Digital en América Latina y el Caribe: Oportunidades y Trampas Estructurales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). URL: https://conferenciaelac.cepal.org/9/sites/elac9/files/s2401013_es.pdf
- Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. (2025). Optimización del sector agrícola mediante el análisis de datos para una gestión eficiente de los recursos naturales: Una perspectiva para México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2):241-257. DOI:10.37811/cl_rcm.v9i2.16816. URL:
- Cooper, H. M., et al. (2019b). *Handbook of Systematic Review and Meta-Analysis*. SAGE Publications. URL:
- FAO. (2020). Retos para la agricultura y el desarrollo rural en el contexto 2020-2024. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. URL:
- Han, D., & Rodriguez, M. (2023). Big Data Analytics, Data Science, ML&AI for Connected, Data-driven Precision Agriculture and Smart Farming Systems: Challenges and Future Directions. *Cyber-Physical Systems and Internet of Things Week 2023*. ACM. URL: <https://rrpress.utsa.edu/bitstreams/0370a49a-ecab-44b9-8a0e-91fb92435802/download>
- IEEE. (2010a). High Level Architecture (HLA) Standard for Distributed Simulation. IEEE Standard 1516-2010. URL:
- Le Coq, J-F., Goulet, F., Bert, F., Van Loon, J., & Martínez Baron, D. (2024). Transición digital en agricultura y políticas públicas en América Latina. E-papers. URL: https://www.researchgate.net/publication/388781169_Transicion_digital_en_agricultura_y_politicas_publicas_en_America_Latina
- Lizarazo, O. (2024). Metodología de Revisión Sistemática para la construcción de marcos conceptuales. *Revista Ingenio UTEQ*, 4(1), 54-68. URL: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/ingenio/article/download/824/897>
- Martínez, P. (2023). Análisis de la Interoperabilidad Semántica por Áreas de Investigación Identificadas. *Revista de Ingeniería de Software IEEE Latin America*, 11(2), 45-58. URL: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7799079.pdf>

- O'Connell, S. (2023). *Defining Scope and Boundaries in Qualitative Research*. SAGE Publications. URL:
- Pérez, E. (2023). Gobernanza de Datos Agrícolas Abiertos en Contextos Regionales de América Latina. *Revista Iberoamericana de Tecnología y Sociedad*, 18(3), 101-115. URL:
- Revista de Alergia de México. (2020). La Revisión Sistemática en la Medicina Basada en Evidencia. *Rev. alerg. Méx.*, 67(1), 62-75. URL: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902020000100062
- Sánchez, M. (2024). SCFHLA: A Semantic Interoperability Model for Supply Chain Distributed Simulation. *Journal of Applied Informatics*, 29(4), 312-325. URL: <https://scispace.com/pdf/scfhla-un-modelo-de-interoperabilidad-semantic-a-para-12j9j1sece.pdf>
- Smith, J. (2024). Fusión de IA y IoE para la Agricultura Inteligente: Un Marco Robusto con Razonamiento de Incertidumbre. arXiv preprint arXiv:2510.05187. URL: <https://arxiv.org/abs/2510.05187>
- Taylor, K. (2017). *Conceptual Frameworks for Distributed Simulation*. Springer Publishing. URL:
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M-J. (2017). Big Data in Smart Farming—A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.009. URL:
- Xiong, Y. (2024). Semantic Techniques for IoT: The Internet of Everything Paradigm. arXiv preprint arXiv:2510.05187v1. URL: <https://arxiv.org/html/2510.05187v1>
- Yépez, C. (2024). El alcance de la investigación: Definir los límites y el enfoque. Mind the Graph Blog. URL: <https://mindthegraph.com/blog/es/scope-in-research/>
- Zhang, L. (2024). La Revisión Sistemática como Metodología para la Investigación en Ciencias Sociales. *Círculo de Lingüística Aplicada a la Comunicación*, 98, 77-90. URL: <https://revistas.ucm.es/index.php/CLAC/article/download/88711/4564456568593>
- Gómez, F. (2023). Ontologías y Modelado de Conocimiento Agrícola para la Trazabilidad. *Revista Iberoamericana de Sistemas*, 20(1), 12-25. URL:
- Ríos, J. (2022). Desafíos regulatorios en la adopción de IA en el sector primario latinoamericano. *Política Agrícola y Desarrollo Rural*, 5(2), 115-130. URL:
- Soto, R. (2024). Análisis Comparativo de Estándares ISO en Agricultura de Precisión. *Tecnología y Sostenibilidad*, 15(3), 200-215. URL:
- Díaz, L. (2023). La Conectividad Rural como Habilitador del Smart Farming en Centroamérica. *Revista de Infraestructura Digital*, 10(4), 88-102. URL:
- Gutiérrez, M. (2021). Sistemas de Gestión de Fincas (FMIS) y la necesidad de interoperabilidad en la cadena de valor. *Journal of Agricultural Informatics*, 8(1), 1-15. URL:

- Vargas, A. (2024). Modelos de Riesgo Climático en la Agricultura Andina mediante Deep Learning. Conferencia Internacional de IA Aplicada, Actas, 45-60. URL:
- Atlas.ti. (2024). ¿Qué es una Revisión Bibliográfica de Alcance? | Definición y comparación. Guía de Revisiones Bibliográficas. URL: <https://atlasti.com/es/guias/revisiones-bibliograficas/revision-de-alcance>
- Orozco, P. (2023). Digitalización de los Agroecosistemas Tradicionales y Amenazas Sociales en Latinoamérica. Revista de Estudios Rurales, 12(1), 20-35