

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LIBRO DISTRIBUIDO PARA LA TRAZABILIDAD AGRÍCOLA

Antonio Villafranca¹, Igor Tasic², Victor Gallegos³, Almudena Gimenez³, Jesús Ochoa Rego³, Juan Antonio Fernández³, Jesús Algar¹, María-Dolores Cano¹

1: Departamento de Tecnologías de la Información y la Comunicación, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, España.

e-mail: mdolores.cano@upct.es

2: Facultad de Economía y Empresa, Universidad Católica San Antonio de Murcia, España

3: Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Palabras clave: Blockchain, DAG, trazabilidad, agricultura inteligente, IoT.

Introducción y objetivo

La trazabilidad es un componente clave en la agricultura inteligente, permitiendo seguir y verificar cada etapa de la cadena de suministro desde la producción hasta el consumo final. Este trabajo tiene como objetivo analizar y comparar las tecnologías de libro distribuido (*Distributed Ledger Technologies*, DTL) de tipo Blockchain (Bitcoin y Ethereum) y DAG (*Directed Acyclic Graph*) para identificar cuál de ellas resulta más adecuada para entornos agrícolas inteligentes, considerando eficiencia y latencia.

Material y métodos

Se realizaron simulaciones utilizando BlockSim y DAGSim para modelar escenarios representativos del proceso agrícola, evaluando el impacto de una tasa de generación de 100 transacciones por día con una latencia de red de 100 ms. Los parámetros de configuración incluyeron un tamaño de transacción de 512 bytes y un número de 5.000 agentes. Se midieron los tiempos promedio de inclusión de transacciones bajo esta configuración.

Resultados y conclusión

Bitcoin es una tecnología robusta con una estructura descentralizada y segura gracias al consenso de Prueba de Trabajo (*Proof of Work*, PoW). Su capacidad de procesamiento es limitada (≈ 7 transacciones por segundo) y sus tiempos de inclusión son los más altos, alcanzando promedios de hasta 700 segundos en condiciones de alta carga. Además, es altamente sensible a la latencia de red debido al diseño secuencial de la minería. Esta combinación lo hace poco adecuado para la trazabilidad agrícola, donde se requieren tiempos de respuesta más rápidos y menos dependencia de infraestructura costosa y energéticamente intensiva.

Por su parte, Ethereum introduce contratos inteligentes, que permiten automatizar procesos en la cadena de suministro agrícola, como la certificación de productos y la gestión de transacciones. Con tiempos de inclusión entre 8,95 y 38,97 segundos, aunque hay transacciones que se procesan antes o después de estos tiempos, Ethereum resulta más eficiente que Bitcoin a la hora de enfrentarse a latencias y cargas moderadas. Aunque mejora la escalabilidad respecto a Bitcoin, su uso del modelo PoW, aún en transición a *Proof of Stake* (PoS), limita su capacidad para manejar volúmenes muy altos de transacciones en tiempo real. Además, las tarifas de transacción elevadas y el consumo energético debido al uso de PoW, podrían limitar su aplicación en condiciones de transacciones frecuentes y de bajo coste.

DAG es la tecnología más eficiente evaluada en este estudio. Gracias a su estructura de validación paralela de transacciones, la mayoría de los tiempos de inclusión se sitúan por debajo de un segundo,

con picos puntuales, incluso bajo condiciones variables de carga y latencia. Es especialmente adecuada para entornos IoT como la agricultura, donde sensores generan grandes volúmenes de datos. La eliminación de la minería reduce significativamente el consumo energético, favoreciendo su uso en dispositivos agrícolas de bajo recurso. No obstante, aunque DAG presenta unas prestaciones superiores, enfrenta desafíos en la adopción debido a su relativa novedad y la necesidad de un mayor desarrollo en herramientas y estándares regulatorios.

El uso de las DLT en agricultura inteligente requiere una tecnología que cumpla con tres criterios principales: eficiencia, escalabilidad y sostenibilidad. La primera para poder gestionar grandes volúmenes de datos con rapidez, la segunda para disponer de un buen nivel de adaptación a un número creciente de dispositivos IoT, y, por último, intentar cumplir con bajos costes energéticos y operativos. En base a esto, DAG es la mejor tecnología para trazabilidad en la agricultura inteligente según los resultados del estudio. Su baja latencia, escalabilidad, y eficiencia energética lo posicionan como la opción ideal para integrar sensores IoT y gestionar datos agrícolas de manera descentralizada. Ethereum podría ser una opción intermedia si se prioriza la automatización mediante contratos inteligentes, pero Bitcoin resulta inadecuado debido a sus limitaciones de escalabilidad y consumo energético.

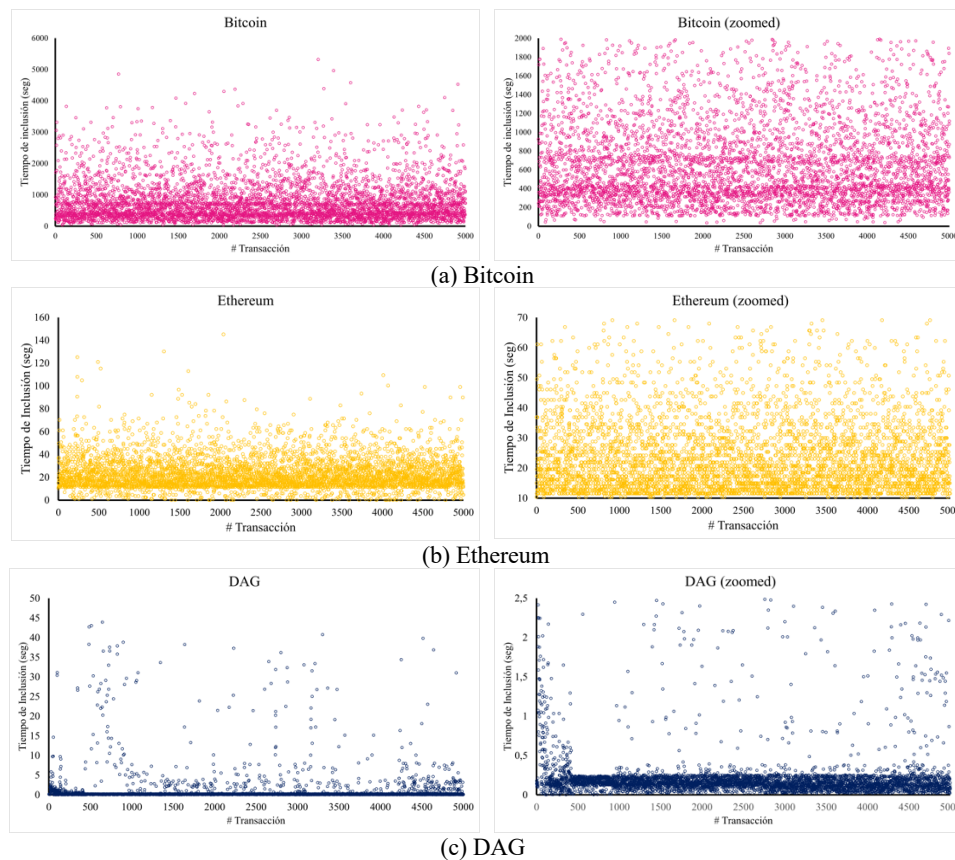


Fig. 1. Tiempos de inclusión para 100 transacciones/día y latencia de 100 ms en función de la tecnología DLT.

Referencias

G. Lv, C. Song, P. Xu, Z. Qi, H. Song y Y. Liu, “Blockchain-Based Traceability for Agricultural Products: A Systematic Literature Review,” *Agriculture*, 13(9), 17572023. doi: 10.3390/agriculture13091757.

I. Tasic y M. D. Cano, “An orchestrated IoT-based blockchain system to foster innovation in agritech,” *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, vol. 6, no. 2, Jun. 2024, doi: 10.1049/cim2.12109.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del Programa AGROALNEXT que ha sido financiado por MICIU con fondos NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y por la Fundación Séneca con fondos de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM). Este trabajo ha sido financiado por PID2020-114410RB-I00 MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Además, se agradece el apoyo del Programa Investigo, financiado por el Fondo Social Europeo (FSE) y el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España.