

01-056 – Blockchain to improve prototypes management in a project – Blockchain para la mejora en la gestión de prototipos dentro de un proyecto

Sobrino, Manuel¹; Pajares, Javier¹; Martín-Cruz, Natalia¹; Acebes, Fernando¹

(1) Universidad de Valladolid

 Spanish  Spanish

Prototypes are key elements in many projects, often necessary for the validation of the product or service which is the core of the project, among many other reasons. As they are generally unique objects, the project management team often does not have the means to produce these prototypes internally, so it is common to turn to specialized suppliers. In this regard, it is well known that managing prototypes is difficult because they are outliers in established supply chains, representing a significant cost to the project that can penalize its profitability and whose management requires a great deal of resources and energy from the project team. Therefore, the purpose of this communication is to introduce blockchain technology as a proposal for managing prototypes within the scope of a project, thus ensuring more efficient management by guaranteeing complete traceability through this technology, as well as reducing transaction costs.

Keywords: *Blockchain; Prototypes; Suppliers; Transaction costs; Traceability; Supply chains*

Los prototipos constituyen elementos fundamentales en multitud de proyectos, siendo en muchas ocasiones necesarios para la validación del producto o servicio objeto del proyecto, entre otras muchas razones. Al ser objetos generalmente singulares, el equipo de dirección de proyecto frecuentemente no dispone de los medios para producir estos prototipos internamente, por lo que es frecuente acudir a proveedores especializados. Al respecto, es bien conocida la dificultad para gestionar los prototipos ya que son elementos extraños en las cadenas de suministro establecidas, suponiendo un coste importante para el proyecto que puede llegar a penalizar su rentabilidad y cuya gestión supone una gran cantidad de recursos y energía al equipo de proyecto. Es por ello que el objeto de esta comunicación es la de introducir la tecnología de *blockchain* como propuesta en la gestión de los prototipos en el ámbito de un proyecto, asegurando de esta manera una gestión más eficaz al asegurar dicha tecnología una completa trazabilidad, así como una reducción de los costes de transacción.

Palabras claves: *Cadena de bloques (blockchain); Prototipos; Proveedores; Costes de transacción; Trazabilidad; Cadenas de suministro*

Acknowledgments:

Este trabajo se enmarca en el ámbito del Proyecto Europeo SMARTER (2022-1-FI01-KA220-HED-000086152), cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea. Asimismo, ha contribuido la Junta de Castilla y León gracias a los fondos para Grupos de Investigación Reconocidos (VA042G24)



©2025 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En el ámbito de la ingeniería industrial, existe una cantidad significativa de investigaciones que han abordado distintos aspectos ligados a la gestión de cadenas de suministro que permitan un funcionamiento eficiente de los procesos industriales, así como para el éxito en la puesta en marcha de proyectos industriales. Entre éstas, se encuentran los estudios que han explorado en profundidad los mecanismos de gobierno que permiten reducir los costes de transacción (Hobbs, 1996). Recientemente, algunas contribuciones teóricas han destacado el potencial de la tecnología de cadena de bloques (de ahora en adelante la citaremos como *blockchain*) para reducir aún más estos costes (Schmidt et al., 2019; Kouhizadeh et al., 2020). Esta tecnología posibilita una mayor cooperación, así como mayor visibilidad en el abastecimiento, requisitos de auditoría reducidos, aumento de la confianza y una mayor transparencia y trazabilidad a lo largo de toda la cadena de suministro (Francisco et al., 2018). Su capacidad para integrar datos financieros, físicos y digitales limita los problemas como la complejidad en el mantenimiento de registros, las brechas en la trazabilidad, el fraude y la visibilidad limitada. También reduce la duplicidad de datos y garantiza que los inventarios se actualicen de forma continua. Además, los contratos inteligentes pueden automatizar algunos procesos como las entregas y los pagos (Henten et al., 2019).

Tratándose de un sistema descentralizado, seguro y transparente, la tecnología de *blockchain* se basa en una red de nodos para validar y enlazar transacciones en bloques inmutables (Namasudra et al., 2021). Asimismo, los contratos inteligentes—acuerdos autoejecutables activados por condiciones predefinidas—eliminan la necesidad de intermediarios, reduciendo así los costes de transacción. Esta tecnología también minimiza los riesgos de comportamientos oportunistas, ya que las transacciones utilizando *blockchain* son inmutables e irreversibles. Schmidt y Wagner (Schmidt et al., 2019) ilustran cómo la teoría de los costes de transacción respalda la amplia aplicabilidad de esta tecnología para reducir costes en diversos ámbitos de las cadenas de suministro.

Estudios recientes han profundizado en el papel de la *blockchain* en la reingeniería de procesos y modelos de financiación en la cadena de suministro. Chang et al. (2019) demuestran que la *blockchain* facilita la gestión abierta de la cadena de suministro al promover la transparencia y reducir la complejidad mediante flujos de trabajo que optimizan el intercambio de información y la coordinación. De manera similar, Chen et al. (2021) investigan sobre soluciones financieras basadas en *blockchain* que alivian las barreras de financiación para las PYMEs al mejorar la confianza y reducir las asimetrías de información. Sin embargo, advierten que las tarifas operativas y de plataforma introducen nuevos factores de coste. Zhou et al. (2022) añaden que, desde una perspectiva de teoría de juegos, la decisión de adoptar *blockchain* está impulsada tanto por su potencial de reducción de costes como por su mayor competitividad económica.

A pesar de estas ventajas, el uso de *blockchain* no elimina completamente los costes de transacción. Sun et al. (2020) señalan que, aunque los costes pueden disminuir a medida que evolucionan las tecnologías de validación y los contratos inteligentes, persisten ciertos gastos, particularmente en redes sin permisos. Vatiéro (2022) también destaca limitaciones, como la rigidez de los contratos inteligentes y el riesgo de modificaciones unilaterales de los protocolos. No obstante, los contratos inteligentes pueden ofrecer una resolución de litigios más inmediata cuando la intervención legal es generalmente más lenta. Aunque las empresas deben evaluar cuidadosamente las adaptaciones organizativas y operativas necesarias, el potencial de la tecnología *blockchain* para mejorar la gobernanza de la cadena de suministro y reducir los costes de transacción parece superar sus desventajas.

El objetivo de este artículo es analizar, mediante simulación, cómo se comportarían las partes interesadas en la gestión de prototipos dentro de la cadena de suministro en proyectos de automoción al utilizar una solución basada en *blockchain*. En concreto, se miden los costes asociados al uso de *blockchain* en dicho contexto, proporcionando así una base cuantitativa que permitirá, en investigaciones futuras, comparar estos costes con los ahorros derivados de la reducción de costes de transacción. Para ello, a continuación, se describe el caso de estudio en profundidad y, posteriormente, se realiza la simulación con una plataforma desarrollada por los propios investigadores para tal fin.

2. Caso de estudio

2.1 Introducción al caso real

Se trata de una solicitud de gestión de prototipos en un proyecto para el desarrollo de un nuevo vehículo. Todos los detalles que se proporcionan pretenden ser lo suficientemente claros como para entender el caso con precisión, manteniendo a su vez el anonimato y la confidencialidad. Cabe señalar que uno de los autores de la comunicación estuvo directamente involucrado en este caso, ejerciendo el rol de jefe de proyecto senior.

Esta solicitud de prototipos proviene de un fabricante de automóviles y está dirigida a un proveedor de rango 1 (que suministra directamente al fabricante). Dichos prototipos permiten al equipo del proyecto probar algunas características y prestaciones del futuro vehículo sin esperar la llegada de las piezas finales. A lo largo de este epígrafe, describiremos cómo las diferentes partes interesadas gestionaron esta situación en la vida real. Tras ello, en el siguiente epígrafe proponemos una alternativa de gestión de la situación descrita utilizando la tecnología *blockchain* para optimizar tanto el cronograma como los costes relacionados con la negociación, mostrando los resultados de una simulación que se ha realizado en una plataforma propia con fines docentes (proyecto SMARTER).

2.2 Partes interesadas

Destacaremos en este apartado las partes interesadas más relevantes que están involucradas en esta solicitud de prototipos, clasificadas por departamentos, comenzando con las del fabricante de automóviles y terminando con el proveedor.

- **Departamento de Logística de Prototipos (fabricante):** un técnico logístico (parte de un departamento logístico específico especializado en prototipos) es el responsable de iniciar el proceso, solicitando al proveedor la cantidad de prototipos decidida por el proyecto. Esta persona también solicita una oferta económica asociada a dicho pedido.
- **Departamento de Adquisición de Prototipos (fabricante):** Un comprador de prototipos de vehículos (parte de un departamento específico de adquisiciones especializado en prototipos) es quien analiza la oferta económica enviada por el proveedor y verifica la conformidad del precio tomando como referencia el contrato firmado entre el fabricante de automóviles y el proveedor en el momento de la adjudicación del proyecto. Esta persona es responsable de negociar el precio con el proveedor en caso de desviación. Además, si el comprador de prototipos está de acuerdo con dicha desviación, debe presentarla en detalle al equipo de dirección del proyecto en un comité específico para explicar la causa de esa desviación y obtener el acuerdo de la dirección del proyecto.
- **Equipo de Gestión de Proyectos de Ingeniería (fabricante):** siendo un proyecto de vehículos tan complejo, existen diferentes niveles de roles en la gestión de proyectos según el alcance y las responsabilidades: jefe de proyecto junior, jefe de proyecto senior y director del proyecto. El jefe de proyecto junior debe apoyar a su comprador de prototipos en caso de dudas sobre los problemas técnicos que potencialmente podrían generar un

sobrecoste. Si no se llega a un acuerdo, entonces puede intervenir el jefe de proyecto senior, tratando de llegar a un consenso. En cualquier caso, si existiese una desviación de coste respecto al contrato, debe presentarse y validarse en el comité específico con la presencia del director del proyecto para la validación final.

- **Departamento Comercial y Adquisiciones (proveedor):** un comercial es responsable de proporcionar una oferta económica de los prototipos solicitados. Normalmente, debería reflejar un precio ya acordado en el contrato, pero en algunos casos específicos el proveedor considera un coste mayor, siendo necesaria una negociación con las partes implicadas del fabricante. Si la negociación escala a un nivel superior en la jerarquía del fabricante de automóviles (jefe de proyecto senior y/o director del proyecto), un director comercial del proveedor puede supervisar o intervenir en la negociación.
- **Equipo de Gestión de Proyectos de Ingeniería (proveedor):** un jefe de proyecto del lado del proveedor brindará apoyo al comercial en caso de existir problemas técnicos (señalar que no etiquetamos esta figura como "junior" o "senior" porque los proveedores suelen trabajar con un único jefe de proyecto, que es responsable de toda la interlocución con el cliente, estando normalmente en contacto con el jefe de proyecto junior del fabricante, pero también con el jefe de proyecto senior en caso de problemas de mayor calado).

A modo de resumen, se puede observar en la tabla 1 los distintos roles que intervienen en el presente caso de estudio. En la primera columna se refleja si forma parte del fabricante o del proveedor, en la segunda el departamento al que pertenece y en la tercera el rol que desempeña.

Tabla 1: Roles de las partes interesadas.

Empresa	Departamento	Rol
Fabricante	Logística de Prototipos	Técnico Logístico
Fabricante	Adquisición de Prototipos	Comprador de Prototipos de Vehículo
Fabricante	Gestión de Proyectos de Ingeniería	Jefe de Proyecto Junior
Fabricante	Gestión de Proyectos de Ingeniería	Jefe de Proyecto Senior
Fabricante	Gestión de Proyectos de Ingeniería	Director del Proyecto
Proveedor	Comercial y Adquisiciones	Comercial
Proveedor	Comercial y Adquisiciones	Director Comercial
Proveedor	Gestión de Proyectos de Ingeniería	Jefe de Proyecto

2.3 Interacciones entre partes implicadas

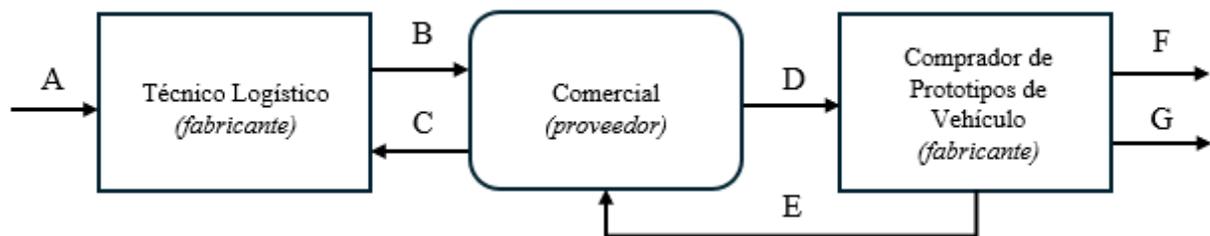
Una vez introducidos los diferentes roles de las partes interesadas, procedemos a explicar las interacciones entre ellas. Para una mejor comprensión de dichas interacciones, describiremos el proceso que permite completar una solicitud de prototipos: desde los primeros datos de entrada (la decisión sobre el número de prototipos a solicitar al proveedor) hasta la emisión de la orden de compra de los mismos, una vez que se ha acordado el precio definitivo para su compra. En la Tabla 2 se refleja la lista de las principales acciones (con su descripción y las personas responsables de las mismas) y éstas se posicionan en el flujograma que se ilustra en la Figura 1, que muestra las interacciones entre los tres interlocutores que tienen una mayor implicación en este proceso de compra de prototipos y son los que intervienen en

la posterior simulación con *blockchain*. Nótese que λ pretende simbolizar un coste para los prototipos solicitados coherente con las condiciones del contrato inicial suscrito entre el fabricante y el proveedor.

Tabla 2: Principales acciones a efectuar por las partes implicadas en la gestión de prototipos.

Acción	Descripción de la acción	Persona responsable
A	Número de prototipos (dato de entrada)	Varios actores implicados
B	Lanzamiento de la solicitud de prototipos	Técnico Logístico
C	Confirmación de disponibilidad y factibilidad	Comercial
D	Oferta económica asociada a los prototipos	Comercial
E	Negociación (si coste $> \lambda$)	Varios actores implicados
F	Emisión de la orden de compra (si coste = λ)	Comprador de Prototipos de Vehículo
G	Emisión de la orden de compra tras el acuerdo negociado y la validación en el comité específico (si coste final $> \lambda$)	Comprador de Prototipos de Vehículo

Figura 1: Flujograma del proceso de gestión de prototipos y principales actividades (de A a F).



Respecto a las acciones A y E, la decisión sobre el número de prototipos a solicitar (A) es compleja y no se analiza en este trabajo ya que no es una acción clave para el objetivo de la investigación. Nos centramos en la acción E (negociación). Ha de tenerse en cuenta que la acción E siempre implicará una presentación en el comité específico para la validación por parte del director del proyecto si el coste, después de la negociación, sigue siendo $> \lambda$. En algunos casos, es perfectamente razonable que el proveedor reclame un coste adicional si la razón está justificada y es coherente.

En cuanto al horizonte temporal, debemos destacar que la acción C se dilata más de una semana después de que el Comercial (proveedor) haya recibido la solicitud de prototipos (acción B). Esto se debe a que esta persona simplemente pasó por alto el correo electrónico del Técnico Logístico con la solicitud: podemos anticipar que esta es una posible optimización que nos proporcionará la utilización de tecnología *blockchain*.

El proceso de negociación, en este caso de estudio, no es trivial. El comercial del proveedor proporciona una cotización tres veces más alta que la referencia por una razón justificada según su punto de vista (lo denominamos 3λ , recuérdese que λ es el precio de referencia para los prototipos establecido en el contrato). Esta gran desviación no es comprendida en absoluto por el comprador de prototipos de vehículo, por lo que se producen muchas interacciones bidireccionales, por escrito (y por teléfono), entre estos dos actores al principio para aclarar los detalles y la descomposición en detalle de los costes (es necesaria la intervención del jefe de proyecto del proveedor y del jefe de proyecto junior del fabricante para ayudarles) y

posteriormente para negociarlo, siendo tan compleja esta negociación que no logran llegar a ningún acuerdo. Por esa razón, se establece un bucle de negociación de nivel superior basado en el método de Harvard (Fisher et al., 2011) liderado por el jefe de proyecto senior del lado del fabricante (con el apoyo del director del proyecto) y el director comercial del lado del proveedor para desbloquear la situación.

En términos temporales, la negociación asociada a la acción E comienza al inicio del mes y no es hasta la última semana del mes que se lanza el bucle de nivel superior, con una duración de este último menor de una semana. Podríamos pensar que la capacidad de reacción entre el comprador de prototipos de vehículo (fabricante) y el comercial (proveedor) no es lo suficientemente buena, pero éste no es realmente el problema: prueba de ello es que intercambian correos electrónicos casi a diario, siendo el verdadero problema de fondo la complejidad del asunto y la falta de detalles técnicos para desbloquear la situación rápidamente. El resultado fue que las negociaciones entre estas dos partes interesadas (sin ningún comportamiento incorrecto o descortés, pero sin llegar a ningún acuerdo) duraron más de tres semanas, por lo que la duración total de la negociación (acción E) fue casi de un mes completo.

2.4 Resolución del caso

La situación se desbloqueó gracias al bucle de negociación de nivel superior que se ha comentado: el jefe de proyecto senior (fabricante) comenzó defendiendo el coste estándar λ al recordar por escrito (vía email) los términos del contrato al director comercial (proveedor). Una primera propuesta del proveedor fue reducir el precio de 3λ a 2λ . El director del proyecto (fabricante) propuso tratar el tema en el comité de pilotaje mensual—instancia donde se realiza el seguimiento del proyecto a alto nivel entre el fabricante y el proveedor—que estaba programado inicialmente para la semana siguiente, pero no fue posible debido a motivos de agenda del proveedor, por lo que la negociación finalmente se cerró con una última contrapropuesta (de nuevo por escrito) del director de proyecto senior (fabricante), quien ofreció $1,5\lambda$ al proveedor, admitiendo en parte la veracidad en las razones de un sobrecoste limitado que fueron esgrimidas por el proveedor. Esta propuesta fue aceptada por el proveedor y luego validada por el director del proyecto (fabricante) y el resto de los actores involucrados en el comité específico.

En el siguiente epígrafe se describe una simulación del caso real con tecnología *blockchain*, la cual, entre otros beneficios que describiremos, nos aportaría una mayor reactividad a la hora de alertar sobre situaciones de bloqueo en caso de divergencias respecto del coste contractual.

3. Resultados de la gestión de prototipos a partir de una simulación con *blockchain*

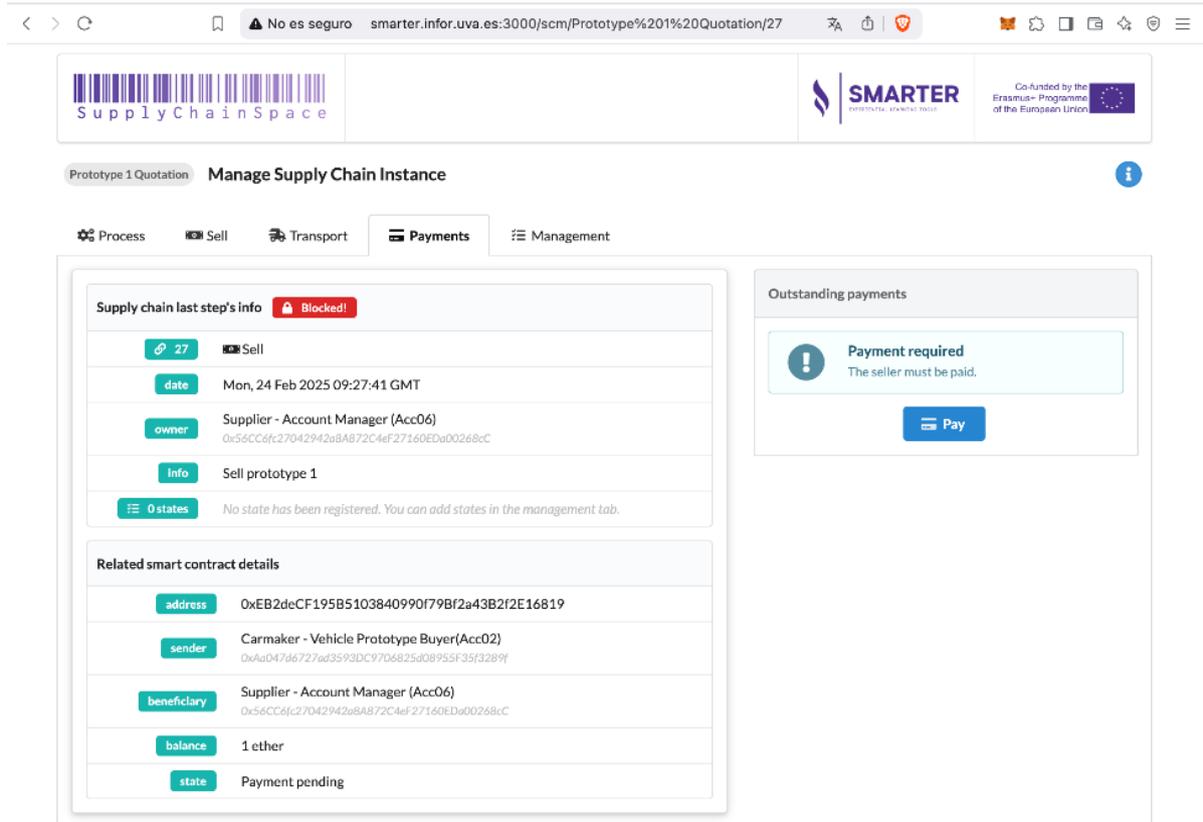
Para analizar el funcionamiento de la tecnología *blockchain* en la gestión de la compra de los prototipos explicado en el caso objeto de estudio, se ha realizado una simulación correspondiente a un proceso estándar de compra de prototipos (sin bucle de negociación) que involucra a tres de las partes interesadas del caso (técnico logístico, comercial y comprador de prototipos de vehículo) y que incluye las acciones B, C, D y F (ver Figura 1 anterior). Cada acción de una de las partes interesadas (a partir de ahora denominaremos transacción) implica varias operaciones en *blockchain*, generando cada una de ellas un coste asociado. Cabe destacar que solo las transacciones externas incluyen la creación de contratos inteligentes, mientras que las transacciones internas se limitan a operaciones de registro.

En las Figuras 2 y 3 presentamos capturas de pantalla de la plataforma *blockchain* en la que se llevó a cabo la simulación, donde se reflejan la interfaz de la plataforma y un ejemplo de registro de una transacción, respectivamente.

Figura 2: Captura de pantalla de creación de la cadena de suministro en la plataforma *blockchain*.



Figura 3: Captura de pantalla de la plataforma *blockchain* con información y detalles de la transacción.



La Tabla 3 presenta los costes unitarios de cada transacción, así como la suma total correspondiente al coste que se ha generado debido a las interacciones entre los tres actores involucrados en la simulación.

Tabla 3: Costes asociados a la *blockchain*.

Actor	Tipo	Información	Coste unitario (ETH)	Coste unitario (EUR)
Técnico Logístico	Interna	Creación de transacción para la compra de prototipos al proveedor	0.0005	1.28022
Técnico Logístico	Externa	Información del estado (en espera de respuesta del proveedor)	0.0002	0.51208
Comercial	Externa	Creación de transacción para vender prototipos al fabricante	0.0005	1.28022
Comercial	Externa	Creación del contrato inteligente para la transacción con el fabricante (Comprador de Prototipos Vehículo)	0.0021	5.37692
Comprador de Prototipos de Vehículo	Externa	Lanzamiento de la orden de compra (pago aceptado)	0.0002	0.51208
Total			0.0035	8.96154

Nota: la simulación realizada utiliza *ethereum* (ETH) de la red principal para la gestión de las tasas ligadas a las transacciones, por lo que dichos costes fueron transformados a euros (EUR) basándonos en las tasas de cambio reales a fecha 24 de febrero de 2025.

La volatilidad en los precios de las criptomonedas puede plantear desafíos sustanciales para las operaciones de la cadena de suministro que requieren pagos recurrentes o estables. Por esta razón, la implementación en casos reales podría considerar el uso de un token ERC-20 personalizado, vinculado a un activo estable o a una moneda fiduciaria, con objeto de mitigar la volatilidad y proporcionar estructuras de costes predecibles. Al cumplir con el estándar ERC-20, dichos tokens permiten interoperabilidad, pagos automatizados simplificados (a través de contratos inteligentes) y registros de transacciones transparentes, beneficios que podrían ser fundamentales para actividades financieras recurrentes en la gestión de la cadena de suministro como el caso real de los prototipos en el ámbito de un proyecto de automoción objeto del presente estudio.

Los resultados de la simulación muestran que la tecnología *blockchain* supone un coste en la realización de las transacciones (acciones asociadas a la gestión de la cadena de suministro) que debería ser comparado en investigaciones futuras con la reducción de costes que la tecnología *blockchain* permite en términos de transparencia, trazabilidad e integridad de los datos. En este sentido, los responsables del análisis de nuevas tecnologías deberían realizar un análisis detallado de costes y beneficios antes de la implementación de soluciones *blockchain*, teniendo en cuenta no solo las posibles reducciones en los costes de transacción, sino también los costes que conlleva la puesta en marcha y mantenimiento de dicha infraestructura.

4. Discusión y conclusiones

Para este caso de estudio real se ha realizado una simulación que identifica los costes asociados al uso de la tecnología *blockchain* para transacciones en una cadena de suministro de un proyecto en el ámbito de la ingeniería industrial. En concreto, se han reflejado los costes en los que se incurre para cada transacción, que surgen del mantenimiento de la seguridad y eficiencia de la red, así como de los recursos computacionales necesarios para ejecutar transacciones en la cadena. Como resultado, cualquier modificación en la *blockchain* genera un coste, que dependerá de la complejidad de la transacción y del volumen de información

registrada, lo que es consistente con el modelo de "software como servicio" (en inglés, SaaS "Software as a Service").

Investigaciones previas mostraron que la tecnología *blockchain* reduce los costes de transacción, incluyendo los relacionados con la búsqueda, comunicación, creación y cumplimiento de contratos. Donmez et al. (2022), analizaron datos de la plataforma *ethereum* y concluyeron que ésta funciona como un mercado financiero para pagos y servicios relacionados. Según su opinión, los factores de demanda, como las tasas de utilización y las elecciones de tipo de transacción, son los principales impulsores de las tarifas observadas, lo que respalda la noción de que se comporta como un "mercado eficiente". Aunque la *blockchain* puede caracterizarse como una herramienta eficaz para reducir los costes de transacción, es fundamental que los diseñadores de cadenas de suministro consideren los gastos relacionados a dicha *blockchain* en sus estrategias de implementación.

Hay que señalar que esta investigación presenta una simulación simplificada de la tecnología *blockchain* en un contexto de cadena de suministro. Dado que el diseño empleado aquí es de acceso libre, se recomienda precaución al generalizar los hallazgos a cadenas de suministro más complejas o a *blockchains* con estructuras de gobernanza alternativas. Es importante señalar que esta simulación refleja un único momento en el tiempo, con los costes reportados asociados a criptomonedas volátiles. Las investigaciones futuras podrían centrarse en mitigar esta volatilidad utilizando un token ERC-20 personalizado vinculado a un activo estable (por ejemplo, el euro). Este enfoque no solo reduciría los riesgos de fluctuación de divisas, sino que también podría disminuir las tarifas de transacción y mejorar la previsibilidad general de los costes en las operaciones de cadena de suministro habilitadas por *blockchain*.

Por otro lado, la tecnología *blockchain* no es capaz de sustituir las habilidades interpersonales en lo que respecta a los procesos de negociación, pero puede ayudar a la gestión de este tipo de situaciones en el marco de los proyectos, siendo posible recibir alertas rápidas en caso de una prolongación inusual de una negociación estándar. En el caso real descrito, el jefe de proyecto senior (fabricante) podría haber intervenido si hubiera recibido una alerta de un sistema basado en la tecnología *blockchain* después de la primera semana de negociaciones fallidas entre el comprador de prototipos de vehículo (fabricante) y el comercial (proveedor). Esto habría permitido reducir a la mitad el tiempo de negociación (de casi un mes a dos semanas), siendo esta optimización del cronograma crítica dependiendo de la naturaleza y el uso de los prototipos.

Este trabajo pretende dar un paso más en la comprensión del funcionamiento de la tecnología *blockchain* en la cadena de suministro y de las situaciones en las que esta tecnología aporta los beneficios "prometidos", garantizando en todo momento la inmutabilidad de las transacciones. Esto se traduce en una mayor celeridad en los procesos de negociación gracias a la implementación de un sistema de alertas automático que avisaría de forma instantánea a las partes implicadas, o en una mayor reactividad para intervenir y solventar situaciones complejas relacionadas con cualquier cadena de suministro, que son habituales en los proyectos de ingeniería del sector industrial.

5. Referencias

- Chang, S. E.; Chen, Y.-C.; and Lu, M.-F. (2019). Supply Chain Re-Engineering Using Blockchain Technology: Insights from Open Supply Chain Management. *Journal of Management Information Systems*, 36, 4, 1022–1045
- Chen, X.; Li, Y.; and Wu, D. (2021). Blockchain-Based Supply Chain Finance: A New Financing Approach to SMEs. *Journal of Management Information Systems*, 38, 3, 668–687
- Donmez, A., and Karaivanov, A. (2022). *Transaction Fee Economics in the Ethereum Blockchain*. *Economic Inquiry* 60. 1, 265-292.

- Fisher, R., Ury, W. L., and Patton, B. (2011). Getting to yes: Negotiating agreement without giving in. *Penguin*
- Francisco, K., and Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1), 2
- Henten, A.; and Windekilde, I. (2019). Blockchains and Transaction Costs. *Nordic and Baltic Journal of Information & Communications Technologies*, 33–52
- Hobbs, J. E. (1996). A Transaction Cost Approach to Supply Chain Management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 1, 2, 15–27
- Kouhizadeh, M.; Zhu, Q.; and Sarkis, J. (2020). Blockchain and the Circular Economy: Potential Tensions and Critical Reflections from Practice. *Production Planning & Control*, 31, 11–12, 950–966
- Namasudra, S.; Deka, G. C.; Johri, P.; Hosseinpour, M.; and Gandomi, A. H. (2021). The Revolution of Blockchain: State-of-the-Art and Research Challenges. *Arch. Comput. Methods Eng.*, 28, 1497–1515
- Schmidt, C. G.; and Wagner, S. M. (2019). Blockchain and Supply Chain Relations: A Transaction Cost Theory Perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25, 4, 100552
- Sun, R.T.; Garimella, A.; Han, W.; Chang, H.L.; and Shaw, M.J. (2020). Transformation of the Transaction Cost and Agency Cost in an Organization and the Applicability of Blockchain—A Case Study of Peer-to-Peer Insurance. *Frontiers in Blockchain*, 3, 24, 1–16
- Vatiero, M. (2022). Smart Contracts vs Incomplete Contracts: A Transaction Cost Economics Viewpoint. *Computer Law & Security Review*, 46, 105710
- Zhou, S.; Zhang, Y.; and Song, H. (2022). Game-Based Analysis on the Adoption of Blockchain for Supply Chain Finance in a Closed-Loop Supply Chain. *Journal of Management Information Systems*, 39, 2, 410–438

Utilización de inteligencia artificial generativa

Para la elaboración de este trabajo no ha sido utilizada la inteligencia artificial generativa.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

