



GESTIÓN Y TRAZABILIDAD DE ADQUISICIONES PARA PROYECTOS MINEROS: BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

WILSON SALAZAR BERENGUELA

PROFESOR(ES) GUÍA: HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD
PAUL BOSCH PEREZ, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

SANTIAGO – CHILE
2025



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

GESTIÓN Y TRAZABILIDAD DE ADQUISICIONES PARA PROYECTOS MINEROS: BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

POR: WILSON SALAZAR BERENGUELA

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

PROFESORES GUÍA: Héctor Valdés-González, PhD y Paul Bosch Perez, PhD

PROFESOR INTEGRANTE 1: (Académico)

PROFESOR INTEGRANTE 2: (Académico)

PROFESOR INTEGRANTE 3: (Empresa)

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de
Sistemas

Abril, 2025

Santiago, Chile

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado GESTIÓN Y TRAZABILIDAD DE ADQUISICIONES PARA PROYECTOS MINEROS: BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o co-autoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



WILSON SALAZAR BERENGUELA

Firma

Dedicado a los docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo y a todos los colegas del Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas 2023.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a los distinguidos docentes de la Facultad de Ingeniería de la prestigiosa Universidad del Desarrollo de Chile y 35 años de trayectoria, en especial a aquellos generosos profesionales que compartieron de manera desinteresada conmigo sus vastos conocimientos y valiosa experiencia. Asimismo, deseo extender mi reconocimiento al director del programa de Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas Sr. Héctor Valdés-González, así como a todo el equipo de expertos que colaboraron en la elaboración y diseño de tan enriquecedor plan de estudios. No puedo dejar de mencionar a mi dedicado profesor guía Sr. Paul Bosch Perez, cuyo constante aliento y significativos aportes fueron primordiales en mi proceso de formación académica. Agradezco también a todos mis colegas de viaje en este arduo camino del aprendizaje, juntos hemos enfrentado más de alguna dificultad, pero siempre saliendo fortalecidos y creciendo como profesionales.

A todas las personas que participaron de este estudio, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su valiosa disposición al diálogo y por la oportunidad de abrir un enriquecedor espacio de reflexión y debate para el futuro.

Sin lugar a duda, debo agradecer enormemente a mi familia por su inmensa paciencia y profunda comprensión en cada momento de mi vida. También quiero expresar mi agradecimiento a todos mis colegas de trabajo por su inestimable apoyo y el valioso intercambio de ideas que contribuyen significativamente a elevar la calidad del ámbito profesional y laboral, fomentando así un ambiente de trabajo sumamente propicio y enriquecedor.

GESTIÓN Y TRAZABILIDAD DE ADQUISICIONES PARA PROYECTOS MINEROS: BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Wilson Salazar Berenguela

Bajo la supervisión del Profesor Héctor Valdés González, PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

Resumen

Este trabajo presenta una descripción de los beneficios operativos que implica la adopción de la tecnología blockchain (BC) o cadena de bloques en la gestión y trazabilidad de adquisiciones durante la fase final de aprovisionamiento de suministros para proyectos en la industria minera. El objetivo de esta investigación es determinar los beneficios operativos de la adopción de Blockchain en la gestión y trazabilidad de las adquisiciones de suministros, evaluando los aspectos positivos y negativos de su aplicabilidad, para la definición de una estrategia de implementación adecuada. Para lograrlo, se plantea una aproximación mixta de investigación. En el ámbito cualitativo, considera diez entrevistas semiestructuradas a gerentes de primera línea en minería y proveedores, ingenieros de compras y analistas de adquisiciones, los cuales han sido seleccionados a conveniencia, debido a su experiencia y roles en la gestión de proyectos y compras. En el ámbito cuantitativo, se llevará a cabo una encuesta en línea dirigida a profesionales del área de adquisiciones, contratos y proyectos, con una muestra a conveniencia y aleatoria, considerando al menos 30 participantes. Los datos muestran que, más de la mitad de los participantes del presente estudio no conoce la tecnología BC, y casi todos indican que nunca han conocido una implementación. También, se observa que uno de los beneficios operativos percibidos con la adopción de BC es la mejora en la trazabilidad de los suministros, especialmente en un mercado donde la fabricación está distribuida en diferentes lugares. Sin embargo, la resistencia al cambio y la dependencia de procesos tradicionales en las adquisiciones para proyectos mineros se realzan como desventajas significativas. En síntesis, el análisis revela que la implementación de la tecnología Blockchain posee potenciales considerables, tales como la mejora de la trazabilidad y la generación de valor para los stakeholders, siempre que se atiendan de manera adecuada las desventajas identificadas. Por consiguiente, resulta esencial llevar a cabo una estrategia inicial que enfatice el valor de la tecnología Blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos mineros, y que disminuya la resistencia al cambio y promueva la confianza entre los actores implicados, empleando una metodología que facilite un incremento progresivo y cuantificable en la promesa de valor.

Palabras clave: Blockchain, innovación tecnológica, gestión de suministros, resistencia al cambio, estrategia de implementación

HIGHLIGHTS

GESTIÓN Y TRAZABILIDAD DE ADQUISICIONES PARA PROYECTOS MINEROS: BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Wilson Salazar Berenguela

- Determina beneficios de la adopción de Blockchain en adquisiciones para proyectos en minería
- Utiliza una aproximación mixta basada en entrevistas semiestructuradas y encuestas
- Considera 10 entrevistas y 31 encuestas a diferentes actores de la industria minera
- Determina la generación de valor para stakeholders y la mejora de la trazabilidad como ventajas
- Propone una estrategia inicial de implementación de Blockchain que disminuya la resistencia al cambio

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	ADOPCIÓN DE BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA MINERA DE CHILE.....	9
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA	9
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	16
1.4	OBJETIVO GENERAL.....	16
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i>	17
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA	17
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO.....	24
2	INFORMACIÓN Y RESULTADOS	25
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS.....	25
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	29
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS:	29
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	30
2.4.1	<i>Análisis de datos cualitativos (Entrevistas)</i>	30
2.4.2	<i>Análisis de datos cuantitativos (Encuestas)</i>	39
2.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
2.6	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	44
3	ARTÍCULO	48
4	CONCLUSIONES GENERALES	66
4.1.1	<i>Propuesta para trabajos futuros</i>	68
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
6	ANEXO: REPORTE DE PLAGIO	72

1 INTRODUCCIÓN

La cadena de suministros se ve expuesta a diferentes eventualidades, la última, se manifestó durante la pandemia del COVID 19, con la crisis de los contenedores. Tal interrupción desembocó en algo más que el mero desabastecimiento, también impactó directamente en los planes de demanda y suministros a escala global, retrasando más de algún proyecto (Lopes et al., 2022). Considerando la longitud de la cadena de suministros de las empresas mineras, y enfocándonos en los proyectos de Chile, existen pocos estudios respecto a la gestión y trazabilidad de la última milla de los bienes o suministros. Sin embargo, se puede estimar que entre un 15% y 40% del CAPEX se destina a las adquisiciones. La trazabilidad de estas parece estar muy bien abordada, pero aquellas que se fabrican en diferentes lugares del mundo pueden desenfocar los esfuerzos, de la ingeniería y la construcción por determinar los tiempos de llegada para el cumplimiento del programa maestro del proyecto y, en definitiva, de la promesa de valor del proyecto, y sin duda de la inversión.

La posibilidad de trazar este último tramo de los bienes y suministros podría liberar aquellos esfuerzos para dedicarlos a maximizar el valor del proyecto, contribuyendo al éxito de este. Los actuales sistemas de información dependen de quienes los operan, diferentes actores en este tramo y por lo tanto con diferentes perspectivas y con información fragmentada, acentuando pérdida de confianza por el resultado respecto al status de las compras.

Blockchain provee una posibilidad de consenso inigualable, con un registro inmutable de la información que proporciona confianza entre las partes, transparentando las condiciones de adquisición, entrega y puesta en marcha. Sus características basadas en criptografía, descentralización y consenso, entre otras, parecen ser una potencial solución, como lo está siendo en el sector financiero en Chile, en particular, la emisión de criptomonedas y las empresas Fintech (por sus siglas en inglés de financial technology). En la industria minera se utiliza blockchain en la Plataforma Renova, desarrollada por el Coordinador Eléctrico Nacional, y que se usa para el seguimiento de la energía eléctrica, desde su generación hasta su consumo, por otro lado, Codelco obtuvo la certificación con el “Sello Sol”, que a través de tecnología blockchain determina cuanta energía fue usada en el proceso de electro-obtención.

La adopción de una nueva tecnología, dependiendo de la cultura organizacional y otros factores, puede llegar a ser un proceso complejo y lento, o sencillo y dinámico, que con una estrategia adecuada será un pilar de la tecnología de los próximos años. En algún momento muchos componentes de las bases de datos de hoy en día estarán bajo la tecnología blockchain, quizás sustituyendo las actuales arquitecturas o complementándolas, fortaleciendo los procesos de transacciones de datos y favoreciendo a la confianza en la data registrada.

1.1 Adopción de blockchain en la industria minera de Chile

Desde el contexto mencionado, se puede formular la siguiente interrogante: ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de adoptar la tecnología Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera?

En efecto, la tecnología blockchain no ha tenido un desarrollo sostenido en la industria minera, principalmente por el desconocimiento de sus beneficios en gestión de transacciones, seguridad criptográfica y trazabilidad inmutable. No obstante, los obstáculos para su adopción, estos pueden ser superados gracias a la capacidad transformadora de blockchain para optimizar elementos cruciales de la de la actualidad.

1.2 Breve discusión de la literatura

Las adquisiciones en el sector minero se caracterizan por su continuidad, abarcando desde materiales fungibles en la gestión y las operaciones hasta la adquisición de grandes equipos para las diversas áreas de producción, incluyendo chancadores, molinos, espesadores, entre otros. Además, incluyen todos los equipos que facilitan el proceso productivo, incluyendo instrumentos y software de control, válvulas, tuberías, componentes eléctricos y estructuras metálicas, entre otros. Estos procesos de adquisición deben ser planificados desde la formulación del requerimiento, que determina la demanda de un bien, hasta su llegada al sitio (on site) o al almacén (off site) para su utilización inmediata o subsecuente. El estándar de gestión de proyectos sugerido por el Project Management Institute (PMI) se emplea como referencia, tal como se especifica en la guía PMBOK 7^a edición o Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos. Esta versión adopta un enfoque fundamentado en principios,

permitiendo a los profesionales ajustar las prácticas de acuerdo con las exigencias del contexto del proyecto. El estándar proporciona un fundamento robusto de conocimientos y prácticas óptimas en la administración de proyectos, incorporando principios y dominios vinculados a la labor del proyecto. En el presente escenario, se considera pertinente el campo vinculado a la administración de adquisiciones, que comprende la adquisición de bienes y servicios indispensables para el éxito del proyecto. De acuerdo con la 7.a edición del PMBOK, la Dirección de Proyectos se enfoca en la generación de valor y los resultados esperados, poniendo énfasis en la consecución de metas estratégicas, la satisfacción de los interesados (stakeholders) y el éxito del proyecto. En el contexto de la administración de adquisiciones, se aconseja la implementación de estrategias adaptativas que aseguren un control efectivo a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Institute, 2021).

Control y trazabilidad de adquisiciones PMI

El control y trazabilidad de transacciones en las adquisiciones para proyectos en minería es crucial por varias razones, entre otras, la gestión eficiente de recursos financieros, la reducción de los riesgos asociados con proveedores, contratos y pagos; cumplimiento normativo y legal (todas las transacciones se deben realizar de acuerdo con las regulaciones locales e internacionales, incluidas las relacionadas con la compra de equipos de seguridad, protección ambiental y derechos laborales); optimización de procesos; mejora de la transparencia y la rendición de cuentas (Rodrigues et al., 2021).

De la misma manera, y tal como plantea Rodrigues et al. (2021), se debe controlar el alcance original, los costos, el plazo de entrega, los documentos de la orden de compra y sus documentos integrantes (consultas y respuestas, especificaciones técnicas, aclaraciones, etc.); calidad de los bienes adquiridos. Los datos son provistos por los profesionales a cargo de las compras, tales como cronograma, costos y desempeño.

Las adquisiciones son un costo importante en cualquier tipo de proyectos. La adquisición ineficiente aumenta el gasto y la duración del proyecto. Por ejemplo, en el negocio de la construcción tiene una eficiencia insuficiente en la gestión de la adquisición. Para satisfacer las exigencias de esta industria, la gestión de la información de la construcción debe ser más eficiente. La cadena de bloques permite el intercambio seguro de datos de adquisiciones y las compras de materiales (Ara et al., 2021).

Tecnologías para la gestión

Las principales aplicaciones usadas en adquisiciones de bienes en minería son e-commerce, siendo el más importante en Chile: SAP Ariba. También se utilizan planillas electrónicas como Microsoft Excel y Google Sheet, software de Business Intelligence (BI), entre otros Microsoft Power BI y Tableau, software de gestión de bases de datos, entre ellos Microsoft Access y Oracle, principalmente, lenguajes de consultas y programación como SQL y Python. Otras aplicaciones importantes son los ERP tales como SAP y Ellipse, y sistemas de gestión de inventarios y almacenes, para el control de inventario y almacenamiento (Althabatah et al., 2023).

El e-commerce, se utiliza para controlar el cronograma de la adjudicación de la compra, acompañando todo su proceso, desde la invitación hasta la adjudicación. Las planillas electrónicas, se ocupan para hacer seguimiento al alcance propiamente tal, desde la lista de componentes y subcomponentes (packing list), costos, y checklist de control y calidad en general (IBM Blockchain, 2024).

Los softwares BI ayudan a convertir los datos en información significativa para la toma de decisiones. Los softwares de gestión de bases de datos tradicionales (DBMS, por sus siglas en inglés) son utilizados para administrar, organizar y manipular datos de manera eficiente. Los lenguajes de programación se pueden usar para transformar los datos, realizar consultas a las bases de datos, ETL, etc., y también para generar algoritmos de búsqueda, categorización, regresiones lineales, etc. También, son utilizados sistemas ERP, de gestión de inventarios y almacenes, para determinar la llegada y dónde se almacenan: en bodegas fuera del sitio del proyecto, en sitio o en el mismo lugar dónde se realiza el proyecto, etc. (IBM Blockchain, 2024).

Tecnología blockchain

La tecnología blockchain, un sistema de registro descentralizado resguardado por medio de protocolos criptográficos ha captado la atención debido a su habilidad para asegurar la integridad y confidencialidad de la información. En su introducción inicial con el sistema de pago electrónico Bitcoin por "Satoshi Nakamoto", la utilidad de la tecnología blockchain ha trascendido considerablemente el dominio de las criptomonedas, hallando aplicaciones en diversos sectores, incluyendo el gobierno, la logística, la salud y la administración. Las principales características de esta tecnología son la descentralización, la inmutabilidad y la

seguridad. Pese a su potencial, la implementación de la tecnología blockchain en diversos dominios se encuentra sujeta a múltiples obstáculos (Bahar et al., 2024).

Como lo indican Kaur et al. (2025), la evolución de la cadena de bloques implica la interconexión de diversas organizaciones productivas, la adopción de la digitalización basada en las últimas tecnologías y la perspectiva de hacer accesibles no solo los datos, sino también los activos valiosos para un público más amplio. Esta cadena de bloques ofrece a las empresas un nuevo modelo de comunicación, interacción y confianza, lo que, a su vez, demanda un nivel creciente de seguridad y resguardo de la privacidad; la garantía de existencia u origen y la trazabilidad se vuelven cada vez más relevantes. Confiar en registros temporales e integridad de datos puede ser esencial.

Por ello, Blockchain tiene el potencial de revolucionar la forma en que las empresas encararan el futuro, proporcionando una mayor seguridad y calidad de datos. El impacto de esta tecnología puede abarcar todas las áreas empresariales, desde contabilidad y cadena de suministro hasta innovación, financiamiento y lealtad de clientes (Kaur et al., 2025).

Aunque el entusiasmo por Bitcoin ha disminuido, se ha sumado curiosidad por las criptomonedas; el deseo de crear tecnología blockchain sigue siendo fuerte debido a las numerosas ventajas que podría brindar a muchas industrias. Sin embargo, debido a su naturaleza y la interconectividad de sus subsistemas, el proceso de generación y utilización del valor de sistemas Blockchain presenta una serie de desafíos. (Zavolokina et al., 2024)

De acuerdo con lo indicado en el Boletín N° 387, Facilitación, comercio y logística en América Latina y El Caribe (Cepal), de los autores Díaz et al., (2021), la tecnología Blockchain es relativamente nueva y, desde sus comienzos, ha estado estrechamente vinculada al mundo financiero, especialmente a las criptomonedas. Sin embargo, su crecimiento y evolución constante han ampliado sus aplicaciones hacia industrias como la cadena de suministro, la gobernanza y la gestión de identidades, entre otras. Esto se debe a sus fortalezas en términos de seguridad, privacidad, integridad de datos y eficiencia en la transferencia de información, con base en la descentralización y la distribución de la base de datos.

Desde el punto de vista netamente técnico, el término Blockchain (cadena de bloques en español) es una estructura de datos que almacena la información de forma concatenada con la información de los bloques anteriores. El término fue acuñado el 31 de octubre de 2008, por Satoshi Nakamoto en su documento "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System",

donde el también creador de la criptomoneda bitcoin, explicaba la esencia de la tecnología de Blockchain para generar una versión digital del efectivo capaz de ser transferida entre dos entidades sin la necesidad de la participación de un tercero que actuara como intermediario y ministro de fe de la transacción (Díaz et al., 2021; Nakamoto, 2008).

Esto representó un cambio significativo en el modelo transaccional aún vigente hoy en día, donde la intervención de un tercero de confianza, generalmente entidades bancarias, es esencial para validar la autenticidad de una transacción y la propiedad del activo intercambiado (Díaz, et al., 2021).

De acuerdo con Díaz et al. (2021), para llevar a cabo este proceso, Blockchain propone un modelo transaccional basado en la confianza entre los participantes sin la necesidad de intermediarios, utilizando el conocimiento colectivo. En este modelo, todos los participantes tienen acceso a la información existente y, por lo tanto, la capacidad de validar una transacción, así como de registrar un historial de las transacciones realizadas.

Cada bloque se firma digitalmente por el propietario e incluye los datos relevantes de la transacción, un sello de tiempo y el hash del bloque anterior, para enlazar todos los bloques que componen la cadena. Es importante comprender el funcionamiento del algoritmo utilizado para obtener el hash de cada bloque (Díaz et al., 2021; Nakamoto, 2008).

La principal ventaja de la tecnología Blockchain radica en su capacidad para proporcionar seguridad a la información, gracias a características como la inmutabilidad e inalterabilidad de los datos, así como la capacidad de rastrear los registros de las operaciones a lo largo del tiempo. Estas propiedades convierten a la Blockchain en una herramienta eficiente y efectiva para la gestión y seguimiento de proyectos, así como para las adquisiciones asociadas, lo que contribuye a generar confianza entre las partes interesadas. Además, promueve la transparencia en los flujos de información y reduce los tiempos entre solicitudes durante el ciclo de vida de los proyectos. En resumen, la Blockchain ofrece una solución sólida para mejorar la seguridad, la transparencia y la eficiencia en la gestión de proyectos y adquisiciones (Elsharkawi et al., 2025).

Cabe recordar que el concepto de bases de datos distribuidas tiene su raíz en los sistemas de bases de datos centralizados surgidos en los 60 y 70. En los 80 se desarrollaron algunas aplicaciones de esta, dada las necesidades de las corporaciones, principalmente en Estados Unidos, de centralizar los datos de las filiales dispersas en todo el territorio. Teniendo como

principales falencias la seguridad de los datos, la inmutabilidad de los datos y la transparencia de las transacciones (Nakamoto, 2008).

La BC está ganando adeptos tanto en el mundo industrial como en el mundo académico, lo que ha generado investigaciones en diferentes ámbitos, desde la manufactura hasta la cadena de suministros. Sobre esta última no existe tanta literatura, en especial dándole el carácter de digital, con pocas investigaciones al respecto (Kaur et al., 2025).

Sin embargo, para Zavolokina et al. (2024), se debe tener cautela porque los participantes tendrán confianza si la tecnología es confiable, y como todo sistema no es completamente vulnerable, siempre existirá la probabilidad de ataques cibernéticos a las aplicaciones que se basan en Blockchain, y por lo demás, como cualquier actividad humana, ningún sistema está protegido de la corrupción de las personas ni de sus conflictos de interés.

Tabla I: Comparación Blockchain y bases de datos tradicionales

Característica	Blockchain	Bases de datos tradicionales
Estructura	Cadena de bloques enlazados y descentralizados.	Tablas relacionales centralizadas o distribuidas.
Gestión de datos	Inmutable, cada transacción es permanente.	Datos modificables y actualizables.
Seguridad	Alta, basada en criptografía y consenso.	Protegida por permisos y encriptación.
Descentralización	Sí, operada por múltiples nodos.	Generalmente centralizada en un servidor.
Transparencia	Total, cualquiera puede verificar transacciones.	Controlada, acceso limitado por permisos.

Experiencias internacionales exitosas en control de transacciones

Algunos casos de éxito mencionados en la web IBM Blockchain, (2024):

- i. The Home Depot está empleando IBM Blockchain para acceder a información en tiempo real, compartida y confiable sobre sus productos durante el proceso de envío y recepción. Esto disminuye los desacuerdos con los proveedores y agiliza su resolución.
- ii. eProvenance: Salvaguardando la calidad y la integridad del vino mediante BC. Explora cómo la visibilidad en la cadena de suministro y la construcción de confianza ofrecen beneficios significativos.

- iii. Atea se une a la Asociación Noruega de Productos del Mar, Nova Sea, BioMar e IBM para establecer un estándar en la industria de productos del mar mediante BC. Descubre cómo esta red respalda la transparencia, sostenibilidad e integridad alimentaria en el sector.
- iv. Maersk emplea la cadena de bloques de IBM para desarrollar una plataforma que monitorea los contenedores de envío, mejorando así la visibilidad de la cadena de suministro y reduciendo los tiempos de entrega.
- v. Nestlé utiliza Blockchain para rastrear el café que adquiere, asegurando su sostenibilidad y producción ética.

Otros casos exitosos de implementación de cadena de bloques se encuentran en la industria automotriz. Esta tecnología ha sido empleada para potenciar la trazabilidad y transparencia en la cadena de suministro de vehículos, asegurando que toda la información relacionada con su fabricación y mantenimiento esté accesible y protegida contra alteraciones. Además, Blockchain ha sido utilizado en la gestión de vehículos conectados, mejorando así la seguridad y eficiencia en este sector (IBM Blockchain, 2024).

Se nombran, además, estos usos destacados:

- i. Carrefour optó por utilizar la Plataforma Food Trust de IBM y comenzó en 2018 a rastrear puré de papas y leche. Su meta es incluir el 20% de sus productos internos en la cadena de bloques.
- ii. KPMG lanzó la plataforma de seguimiento y localización basada en BC, "Orígenes de KPMG", en Australia, China y Japón. Esta plataforma está diseñada para respaldar industrias como la agricultura, recursos naturales, manufactura y servicios financieros.
- iii. Walmart se asoció con IBM para la seguridad alimentaria mediante BC y contratos inteligentes. Con un sistema de cadena de bloques impulsado por tejido de hiperlibro, la empresa puede rastrear los orígenes de los productos, mejorando la transparencia operativa y la rendición de cuentas interna.

Mediante los contratos inteligentes, todos los involucrados en la cadena de suministro pueden monitorear la ubicación de los artículos. Esto significa que, si un artículo se extravía durante el proceso, los contratos inteligentes tienen la capacidad de identificar su ubicación. Asimismo, pueden automatizar tareas y pagos periódicos, eliminando la necesidad de comunicación a través de documentos. Este es claramente uno de los casos de uso más

destacados de los contratos inteligentes en las empresas de comercio a gran escala (IBM Blockchain, 2024).

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de los proyectos en la industria minera, información suficiente o certeza, respecto a la adopción de Blockchain para la gestión y trazabilidad de adquisición de suministros. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

1.3 Contribución del trabajo

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido el potencial que puede aportar la tecnología BC a la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos mineros. Esto es especialmente relevante en cuanto a la transparencia, seguimiento, seguridad, automatización, eficiencia y confianza y registro de la información. Se propone entonces una estrategia que permita la incorporación de soluciones avanzadas vía BC para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera. En este sentido, este proyecto contribuye a la comprensión de variables que favorecen la adopción de la BC desde una perspectiva estratégica y operacional. Examina en detalle las ventajas potenciales y las desventajas que pueden surgir durante su implementación, atendiendo a que esta tecnología es parte integrante de la transformación digital.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

1.4 Objetivo general

Determinar los beneficios operativos de la adopción de Blockchain en la gestión y trazabilidad de las adquisiciones de suministros, evaluando los aspectos positivos y negativos de su aplicabilidad, para la definición de una estrategia de implementación adecuada.

1.4.1 Objetivos específicos

- Analizar la percepción de profesionales del área respecto a la tecnología blockchain
- Analizar las barreras para la adopción de blockchain y como mitigarlas
- Describir el potencial aporte de la tecnología blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos minero

1.5 Propuesta metodológica

Paradigma y diseño: Se elige la utilización de un enfoque mixto, realizado a través de un diseño paralelo convergente según Arévalo Chávez et al. (2020), que nos permite explorar las bondades de la BC en el proceso de adquisiciones de bienes y equipos en la fase final del aprovisionamiento de proyectos mineros, derivado de la guía PMBOK, y de su relación con el ahorro de tiempo, costos e integración con diferentes sistemas de información que se utilizan para ello. Además, se pudo relacionar el nivel de conocimiento de la BC con su grado de utilización en la industria minera. Para la componente cualitativa de la metodología se realiza una entrevista y para la parte cuantitativa se realiza una encuesta (Arévalo Chávez et al., 2020).

Población sobre la que se efectuó el estudio: El estudio recopila datos entre los diferentes actores de la gestión de proyecto, particularmente en la adquisición de suministros. Se realizaron diez entrevistas y participan diez profesionales como gerentes, ingenieros de compras, analistas y proveedores, caracterizados según la Tabla II:

Tabla II: Caracterización de entrevistados

Cantidad	Posición	Prom. rango etario	Experiencia promedio
3	Gerentes	50	30
2	Ingenieros de proyectos	47	27
3	Ingenieros de contratos	45	20
2	Jefes asistencia técnica	45	20

Los entrevistados fueron elegidos debido a su experiencia y a los roles llevados a cabo en la gestión de proyectos, seleccionados por medio de una muestra a conveniencia (Arévalo Chávez et al., 2020).

También se realizaron 31 encuestas, que se llevaron a cabo de manera online por medio de la aplicación Forms de Microsoft 365, a profesionales de diferentes áreas de desempeño, con rangos de edad de entre 20 a más de 60 años y experiencia en su área de entre 1 a más de 10 años, los que se seleccionaron primeramente a conveniencia para luego aleatoriamente. Al primer grupo, 11 personas, se les envió vía mail y el segundo grupo, 20 personas, participó por medio de la red profesional LinkedIn. La caracterización de los encuestados es la siguiente:

Tabla III: Áreas de desempeño de los encuestados

Áreas de desempeño	
Contratos de servicios y/o bienes para operaciones	28%
Contratos de servicios y/o bienes para proyectos	27%
Proyectos	20%
Procurement	13%
Otras	12%

Tabla IV: Rango etario de los encuestados

Rango etario	
40-50	52%
30-40	23%
50-60 o más	19%
20-30	6%

Tabla V: Años de experiencia de los encuestados

Años de experiencia	
10 o más	68%
7 a 10	16%
4 a 6	10%
1 a 3	6%

Entorno: El área de estudio se centra en la zona del norte grande de Chile, donde existe un alto desarrollo de la minería metálica y no metálica. En este ámbito existen empresas públicas y privadas como Codelco, Freeport-McMoran, Anglo América, SQM, Albemarle Corporation, Boric Acid S.A., Antofagasta Minerals, entre otras. En general, estas corporaciones se apoyan en servicios de Business Procesos Outsourcing (BPO o externalización de procesos de negocios en español) e inspección técnica ejecutados por empresas contratistas de servicios profesionales y que llevan a cabo las actividades de adquisiciones, desde la compra de suministros hasta su almacenamiento y utilización.

A continuación, se presentan los instrumentos aplicados:

- a) Entrevistas
- b) Encuestas online

- a) **Entrevistas:** Estas serán semiestructuradas en forma remota a través de videoconferencias, utilizando un esquema de preguntas abiertas que permita una discusión con el entrevistado. Este proceso se llevó a cabo en 8 sesiones coordinadas previamente con cada persona entrevistada. Las preguntas buscarán comprender los factores cruciales que afectan la adopción de Blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones.

El instrumento propuesto consta de 10 preguntas de respuesta abierta, como se muestra en la lista siguiente:

Etapas 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad.

1. ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?
2. ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?
3. ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?
4. Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?

Etapas 2: Ventajas y desventajas

5. ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?

6. ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?

Etapa 3: Factores para la implementación

7. ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?

8. ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?

9. ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?

10. ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación de alguna estrategia de implementación?

a) Encuestas: Están orientadas a personas que trabajan en adquisiciones, proyectos, contratos para proyectos, activación de compras y otras actividades relevantes. Se trata de 8 consultas con selección única, múltiple (preguntas cerradas) y con escala de Likert, que permitieron determinar el nivel de conocimiento de la BC en profesionales con experiencia en adquisiciones.

Las preguntas para la encuesta fueron:

1. ¿Qué tanto conoces sobre la tecnología Blockchain aplicada a las adquisiciones en proyectos?

Nada / Poco / Moderado / Bastante / Mucho

2. ¿En qué áreas crees que la tecnología Blockchain puede ser aplicada en el ámbito de las adquisiciones en proyectos?

Seguimiento de la cadena de suministro/Gestión de contratos/Pagos internacionales/Registro de proveedores/Auditorías y cumplimiento/Otras

3. En tu opinión, ¿cuáles son las principales barreras para la adopción de la tecnología Blockchain en el ámbito de las adquisiciones en proyectos en el sector minero?

(Selecciona hasta 3 opciones)

Falta de conocimiento / Falta de infraestructura / Resistencia al cambio / Barreras tecnológicas /

Otras: _____

4. ¿Qué desafíos crees que se presentan al implementar la tecnología Blockchain en el ámbito de las adquisiciones en proyectos en el sector minero?

(Selecciona hasta 2 opciones)

Mejorar el conocimiento con capacitación / Mejorar la infraestructura tecnológica /
Mejorar los aspectos regulatorios en adquisiciones / Gestionar de mejor manera la
resistencia al cambio / Otras: _____

5. ¿Conoces alguna empresa de la industria minera que haya implementado la tecnología Blockchain en alguno de sus procesos?

Sí / No

6. Para cada afirmación, califica tu nivel de acuerdo del 1 (Totalmente en desacuerdo) al 5 (Totalmente de acuerdo):

- Blockchain puede mejorar significativamente la transparencia en el proceso de adquisiciones.
- La adopción de Blockchain reducirá el tiempo de gestión en los procesos de adquisiciones.

- Los costos de implementación de Blockchain son una barrera importante para su adopción en la industria minera.
- La resistencia al cambio organizacional es un desafío crítico para implementar Blockchain en adquisiciones.
- La falta de capacitación y conocimiento técnico limita la adopción de Blockchain en adquisiciones.

7. ¿Qué tan probable crees que es que Blockchain se convierta en una solución estándar en la industria minera?

Nada probable / Poco probable / Moderadamente probable / Bastante probable / Totalmente probable

8. En tu opinión, ¿cuáles son los factores más importantes a considerar al evaluar una solución de Blockchain para adquisiciones?

(Selecciona hasta 3 opciones)

Seguridad / Escalabilidad / Costo / Facilidad de uso / Comunidad de soporte técnico /Otras:

Plan de análisis de los datos: Para responder la pregunta, ¿cuáles son las ventajas y limitaciones de adoptar la tecnología Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera?, primeramente debemos evaluar qué conocimiento existe de la tecnología Blockchain en los diferentes niveles de las organizaciones, esto tomando en cuenta que esta tecnología está muy frecuentemente asociada a las criptomonedas, en especial al Bitcoin y Ethereum, esto porque es desde este punto en que conocemos la BC. Luego, se establecen las ventajas y limitaciones de la tecnología para finalmente sugerir una estrategia de implementación, sin entrar en detalles sobre gobernanza de datos como de conformación de equipos de trabajo de gestión de datos dentro de la organización, montos de inversión y costos.

El análisis de las respuestas de las personas entrevistadas en conjunto con las encuestas llevadas a cabo son la fuente de datos que nos permite realizar una evaluación previa, para obtener antecedentes de aplicaciones de la BC en la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera. Para ello se grabaron las entrevistas y se procesaron con la aplicación de inteligencia artificial NotebookLM de Google, que es una herramienta llamada Modelo de Lenguaje de Gran Escala (LLM, por sus siglas en inglés) especializado, y se caracteriza por su optimización para interactuar con datos suministrados por el usuario, tales como documentos, documentos PDF y audios, en lugar de depender exclusivamente de su conocimiento previo. En el primer paso para el procesamiento se determinó un tamaño de muestra que fue calculado utilizando el Método de Muestreo Aleatorio Simple, calculado sobre la base de los siguientes parámetros:

$Z=1.96$ (valor crítico para un nivel de confianza del 95%),

$p=0.5$ (proporción esperada),

$q=1-p=0.5$

$e=0.05$ (margen de error),

$N=100$ (tamaño de la población, 10 consultas x 10 respuestas).

$n=80$ (tamaño de la muestra a revisar).

Para esta muestra se apeló a lo experimentado por el entrevistador, para luego, realizar una revisión de las respuestas para cotejarlas con las grabaciones.

El resultado de las encuestas fue extraído de la aplicación Microsoft Forms 365, que genera automáticamente el análisis de las respuestas.

Es necesario destacar que, en este punto, después del análisis, se comparan y combinan los resultados de ambos enfoques para identificar convergencias, complementariedad o divergencia (Arévalo Chávez et al., 2020).

Ética: El propósito del estudio fue explicado de manera anticipada y detallada, y la información recopilada se mantuvo en secreto. La participación es voluntaria y compromete la confidencialidad de los resultados y la validación responsable. Para garantizar la imparcialidad, las respuestas fueron proporcionadas de manera voluntaria, informada y sin influencias.

Paradigma y Diseño: se plantea el paradigma metodológico desde el que se aborda, así como el diseño escogido, fundamentando brevemente citando algún autor reciente que ha empleado esta forma de investigación en el tema. Descriptivo comparativo, experimental, correlacional, en caso de cuantitativo; interpretativo de casos, micro etnografía, teoría fundamentada, interaccionismo simbólico, etc.). Se especifican los pasos metodológicos a seguir en el estudio acorde al diseño seleccionado. ¿Se trata de un enfoque cualitativo, cuantitativo, o mixto? ¿Cuál será el diseño?

1.6 Organización y presentación de este trabajo

Este trabajo de grado posee cuatro capítulos principales y se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados
 - a. Discusión de resultados
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales

Anexos

2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Para abordar este trabajo de investigación se optó por una aproximación mixta, que permitió considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos

Esta investigación analizó, dentro de las áreas de proyectos y adquisiciones de suministros de diferentes empresas mineras, en particular de producción de cobre en Chile, la potencial adopción de la tecnología blockchain en suministros para proyectos en la última milla. Por tal motivo, se llevaron a cabo en el año 2025 entrevistas con preguntas abiertas y encuestas, con la finalidad de recoger información para su posterior análisis. En particular se solicitó responder preguntas y temáticas, explicando sus ideas y respuestas con sus palabras.

El método utilizado en este estudio fue de carácter descriptivo, dado que se miden y recolecta información de diferentes aspectos o dimensiones del elemento en la investigación.

Fechas en que se recogieron los datos:

Entrevistas:

Estas se realizaron en cinco etapas, de las cuales, las primeras cuatro fueron las entrevistas propiamente tal, y la quinta fue el proceso de levantamiento y análisis de respuestas:

Fase 1: Entre el 2 al 9 de febrero de 2025.

Fase 2: Entre el 10 al 16 de febrero de 2025.

Fase 3: Entre el 3 al 9 de marzo de 2025.

Fase 4: Entre el 10 al 16 de marzo de 2025.

Fase 5: Entre el 17 al 23 de marzo de 2025. (Levantamiento de respuestas)

Encuesta:

Estas fueron realizadas de manera online, entre el 15 de febrero de 2025 y 14 de marzo de 2025.

Coherencia con lo planificado:

La entrevista propuesta inicialmente, debió ser modificada parcialmente desde el piloteo de la entrevista, agregando y modificando preguntas en sus etapas, para hacerla más precisa y coherente. Además, se estableció la exhibición de una infografía extraída de las pagina <https://101blockchains.com/wp-content/uploads/2019/08/DEFINICI%C3%93N-DE-BLOCKCHAIN.jpg> para dar a contexto a las personas que no conocían la tecnología blockchain.

Se aplicó el mismo instrumento a todos los intervinientes.

La encuesta que se aplicó, también, sufrió ajustes para poder abarcar de mejor manera las percepciones de los encuestados.

Fortalezas y debilidades del proceso:

Fortalezas:

- Buena disposición de los entrevistados
- Con consentimiento informado y transparencia
- Dar divulgación a las nuevas tecnologías
- El trabajo con los datos recolectados
- Abre camino a nuevas investigaciones

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Para particularizar los resultados, la investigación debe realizarse una empresa minera específica
- Analizar más exhaustivamente la utilización de otros instrumentos como encuestas, y/o métodos matemáticos-estadísticos
- Considerar empresas de otras industrias
- Ampliar el alcance, incluyendo empresas que hayan implementado blockchain

Población y muestras

Además de o planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio, donde se identificó la muestra, se hace notar que para la selección de entrevistados y encuestados se utilizó una muestra no probabilística, los primeros se realizaron a conveniencia por su conocimiento acerca del proceso de adquisiciones en proyectos, y los segundos de manera aleatoria.

Instrumentos.

Como se indicó anteriormente, para recoger información, se utilizó un cuestionario y una encuesta.

El cuestionario sirvió para introducir al entrevistado al uso de blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones para proyectos mineros y su percepción al respecto. Este instrumento se estructuró con diez preguntas, todas respuestas abiertas, de la misma forma como se muestra en la tabla siguiente.

Cuestionario para la entrevista

1. ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?
2. ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?
3. ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?
4. Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?
5. ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?
6. ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?
7. ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?
8. ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?
9. ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?

10. ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación de alguna estrategia de implementación?

Este cuestionario se aplicó como elemento de consulta durante las entrevistas personales realizadas, previo consentimiento informado. Esto provocó un ameno ambiente para la conversación y conocer los retos, amenazas y posibles usos del BC en la adquisición de suministros.

La encuesta se utilizó para cuantificar que tanto se conoce de BC entre los encuestados y analizar su penetración como tecnología emergente. Este instrumento presentó tres secciones: la primera para caracterizar a las personas encuestadas, la segunda para informar el contexto de la encuesta, y la tercera, la encuesta propiamente tal, donde tres preguntas fueron de selección única, tres de selección múltiple y una escala de Likert con cinco consultas y se muestran en la tabla siguiente:

Encuesta

1. ¿Qué tanto conoces sobre la tecnología Blockchain aplicada a las adquisiciones en proyectos?
2. ¿En qué áreas crees que la tecnología Blockchain puede ser aplicada en el ámbito de las adquisiciones en proyectos?
3. En tu opinión, ¿cuáles son las principales barreras para la adopción de la tecnología Blockchain en el ámbito de las adquisiciones en proyectos en el sector minero?
4. ¿Qué desafíos crees que se presentan al implementar la tecnología Blockchain en el ámbito de las adquisiciones en proyectos en el sector minero?
5. ¿Conoces alguna empresa de la industria minera que haya implementado la tecnología Blockchain en alguno de sus procesos?
6. Para cada afirmación, califica tu nivel de acuerdo del 1 (Totalmente en desacuerdo) al 5 (Totalmente de acuerdo):
 - _ Blockchain puede mejorar significativamente la transparencia en el proceso de adquisiciones.
 - _ La adopción de Blockchain reducirá el tiempo de gestión en los procesos de adquisiciones.

- _ Los costos de implementación de Blockchain son una barrera importante para su adopción en la industria minera.
 - _ La resistencia al cambio organizacional es un desafío crítico para implementar Blockchain en adquisiciones.
 - _ La falta de capacitación y conocimiento técnico limita la adopción de Blockchain en adquisiciones.
7. ¿Qué tan probable crees que es que Blockchain se convierta en una solución estándar en la industria minera?
 8. En tu opinión, ¿cuáles son los factores más importantes a considerar al evaluar una solución de Blockchain para adquisiciones?

2.2 Proceso de recogida de información

Como se ha indicado anteriormente, uno de los instrumentos se aplicó basado en una entrevista semiestructurada, por medio de un cuestionario de respuestas abiertas las que se agruparon por categorías claves, para concentrar la información y analizarla de manera cualitativa. En tanto, los resultados del otro instrumento fueron extraído de la plataforma Forms de Microsoft y graficadas para su mejor lectura.

2.3 Los datos recogidos:

Para una mejor comprensión se realiza una agrupación de resultados por categorías claves de las respuestas capturadas, para su posterior análisis, y que queda dada por la siguiente tabla.

Tabla VI: Categorías del estudio

Pregunta	Categoría
Ítem 1: ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?	Etapas del proceso y procedimientos. Definición de especificación técnica de la adquisición. Servicios asociados a la adquisición. Trazabilidad estratégica.
Ítem 2: ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de	Tiempos de respuestas y calidad. Pérdida de valor y flujos de trabajo inadecuados.

suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?	Rol estratégico de adquisiciones.
Ítem 3: ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?	Sin conocimiento. Con conocimiento.
Ítem 4: Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?	Trazabilidad de la adquisición. Confiabilidad y transparencia. Inmutabilidad y seguridad de los datos. capacidad predictiva.
Ítem 5: ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?	Resistencia al cambio. Riesgo y manejo de información. Falta de capacitación y adaptación a los sistemas existentes.
Ítem 6: ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?	Estandarización de procesos. Mejora continua. No maneja procedimientos específicos.
Ítem 7: ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?	Aversión a la innovación. familiaridad con los proveedores. Actualización de registros.
Ítem 8: ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?	Por etapas. A pequeña escala. Adopción dirigida por el cliente.
Ítem 9: ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?	Sin experiencia. Con experiencia.
Ítem 10: ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación de alguna estrategia de implementación?	Adaptabilidad a la industria. Cantidad de transacciones. Confidencialidad de la información. La urgencia de los proyectos. Sin claridad.

2.4 Análisis e interpretación de los datos

2.4.1 Análisis de datos cualitativos (Entrevistas)

Etapas 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad.

Ítem 1: ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?

En la primera pregunta del cuestionario (Tabla VI), si revisamos los resultados generales, nos encontramos que un 50% de los entrevistados destaca como de gran importancia las **etapas del proceso y procedimientos** como parte esencial de la actividad de adquisiciones, los que deben ser cumplidos y documentados y que se manifiesta en respuestas como: “El proceso tiene distintas etapas dependiendo de si se trabaja para el mandante, una empresa de ingeniería o proveedor, las que se deben cumplir” (Entrevistado 4) y “Se deben cumplir con los procedimientos internos, esto para que cada proceso quede documentado y sea auditable” (Entrevistado 6). Por otro lado, un 30% da un grado de importancia a la **definición de especificación técnica de la adquisición**, en el entendido de que establecen claramente las características del bien a comprar, lo que se refuerza con frases como: “Se definen especificaciones técnicas para recursos, repuestos, ampliaciones y diseños. En países en vías de desarrollo, definir especificaciones sistemáticamente es un área de crecimiento” (Entrevistado 1) y “Los proyectos parten con compras tempranas, influenciadas por el tiempo de ejecución. Se definen características técnicas con ingeniería básica para equipos principales que demoran en construirse, marcando la ruta crítica” (Entrevistado 3). También, se expresa un 10% que se centró en los requerimientos de **servicios asociados a la adquisición**, como asistencias técnicas, tanto remotas como en terreno, que son llevadas a cabo por profesionales altamente calificados por el proveedor del bien y que apoyan al proceso de montaje y puesta en marcha, que se expresa en la respuesta: “Uso poco el proceso de adquisición de materiales debido a que mi foco está en dar servicios asociados a productos que mi empresa vende a las mineras, por ejemplo, la instalación, comisionamiento y asistencia técnica” (Entrevistado 7). Finalmente, debemos destacar el concepto de **trazabilidad estratégica**, pensando en que el accionar del área de adquisiciones, abastecimiento y contratos debe comenzar con la conceptualización del proyecto y así definir, desde ya, las estrategias de compras y contratos para bienes clasificados como cuello de botella o estratégicos, representada por un 10%, lo que se refrenda con la idea: “La trazabilidad debe incluir la conceptualización de la decisión, es decir, por qué se hizo y por qué se necesita un suministro. La trazabilidad es baja en las decisiones previas a la compra, como las que se toman en la etapa de ingeniería de un proyecto. La trazabilidad de los

fabricantes de equipos originales (OEM) es muy mala, ya que las grandes marcas son ensambladoras y no fabricantes” (Entrevistado 10).

Ítem 2: ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?

Al revisar los resultados generales de la segunda pregunta del cuestionario (Tabla VI), nos encontramos que un 40% asocia el concepto **tiempos de respuestas y calidad** a un reto y desafío actual del proceso de adquisición de suministros, retratadas en frases como: “Uno de los mayores inconvenientes es la calidad del suministro, los tiempos de respuesta y los tiempos de llegada al sitio del proyecto. Si hay un retraso, también se retrasa el proyecto” (Entrevistado 1) y “Una vez que no hay stock, por ejemplo, de algunos componentes muy especializados en su aplicación práctica, los cuales a veces no están en el mercado, se producen retrasos en los envíos; no es como ir a una ferretería y comprar algún puñado de tornillos, sino que hay componentes que son algo costosos” (Entrevistado 5). Luego, y con un mismo 40%, el concepto **pérdida de valor y flujos de trabajo inadecuados**, es reafirmado con la idea: “Hay compras que ocurren dos años antes de que se ponga en marcha un equipo; al pasar muchas personas por el proceso, se pierde valor al reprocesar la información” (Entrevistado 3) y “A menudo, los flujos de trabajo no están bien dimensionados ni definidos, como, por ejemplo, cómo llevar a cabo una licitación o administrar un contrato. Hay debilidades en los roles y responsabilidades dentro de los proyectos, lo que dificulta la trazabilidad y el control” (Entrevistado 9). Finalmente, con un 20% se detona como otro reto al **rol estratégico de adquisiciones**, que se expresa en respuestas como: “El rol de abastecimiento debería ser más estratégico y menos transaccional, integrándose al negocio desde las etapas iniciales de los proyectos. La lógica de abastecimiento es obsoleta en la minería, con diseños similares a los de hace 50 años, a diferencia de otras industrias más avanzadas. La integración de abastecimiento al negocio es pobre, lo que impide anticipar las necesidades y generar estrategias eficientes de abastecimiento a largo plazo. (Entrevistado 10).

Ítem 3: ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?

Esta pregunta es una de las más importantes del cuestionario, aquí nos encontramos con un 40% de personas **con conocimiento** de la tecnología Blockchain confirmado con el enunciado: “Es una forma de darle trazabilidad y almacenamiento de datos, que sea visible, trazable y de forma inequívoca. No exista otra versión de un documento que no sea la que está almacenada a través de esta tecnología. Entrega mucha confiabilidad respecto en cuanto a la garantía de la trazabilidad de la información” (Entrevistado 3) y “Blockchain permite dar control y trazabilidad a distintos procesos. Permite digitalizar y asegurar distintos registros en flujos de trabajo o transacciones. Se asocia a los contratos inteligentes” (Entrevistado 9). El otro 60% se reconoce como **sin conocimiento**, comentando: “no conocer Blockchain” (Entrevistado 2, 4, 5, 6 y 8) y “Leí algo del blockchain, pero la verdad que no lo conozco” (Entrevistado 7). En este punto de la entrevista, se exhibió una infografía (Figura 1) a los entrevistados sin conocimiento de Blockchain, donde se da a conocer la definición y características de la BC, esto con la finalidad de no truncar la entrevista.

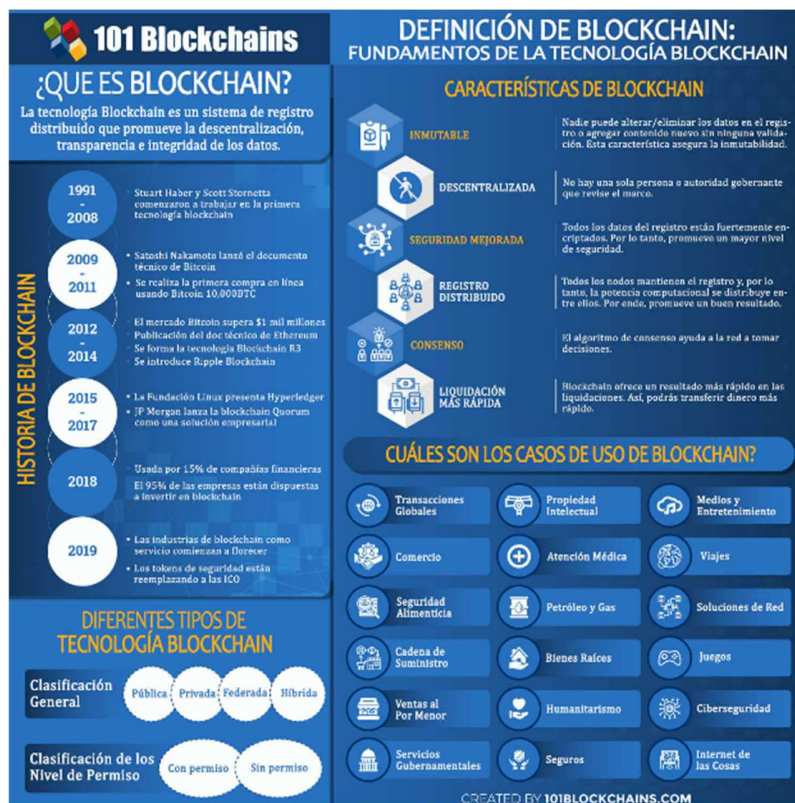


Figura 1: Infografía Blockchain (fuente: <https://101blockchains.com>)

Ítem 4: Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?

Si examinamos los resultados generales de la cuarta pregunta del cuestionario, encontraremos que un 50% determina como un beneficio significativo la **trazabilidad de la adquisición**, donde encontramos declaraciones como: “Destaco la importancia de la trazabilidad y el control en las adquisiciones desde el levantamiento del requerimiento hasta la utilización del bien” (Entrevistado 2), “quizás no en todos los tipos de adquisiciones, dadas las distintas tipologías de adquisiciones, pero sí en la gran mayoría falta esa trazabilidad como intermedia más sistémica desde el momento que lo asignas hasta que lo recibes” (Entrevistado 6) y “La trazabilidad es importante, el acceso a la información de distintas plataformas, la transparencia y la necesidad de documentar un proceso” (Entrevistado 7). De otro modo, el 30% explica como otro beneficio la **confiabilidad y transparencia** reflejada en opiniones similares a: “Entrega mucha confiabilidad respecto a la garantía del bien adquirido. Tener un equipo instalado, una bomba o un variador de frecuencia, con un código QR que te lleve a un sitio único donde esté el manual de operación, el manual del mantenimiento, la hoja de datos, la trazabilidad de los materiales con que fue construido ese equipo, por ejemplo” (Entrevistado 4). En cambio, un 10% manifiesta como beneficio el concepto de **inmutabilidad y seguridad de los datos** descrito en respuestas similares a: “Efectivamente, permite hacer negocios más seguros porque el blockchain es inalterable, no se puede cambiar la data debido al uso de firmas con criptografías inalterables. Da garantías de que no puede ser cambiado” (Entrevistado 1). Finalizando el análisis de este ítem, un 10% establece, como otro beneficio, la **capacidad predictiva** de BC en el siguiente contexto: “Permite predecir problemas futuros en la compañía basándose en los datos de los procesos, flujos y demoras. La tecnología blockchain combinada con el manejo masivo de datos tiene beneficios significativos más allá del seguimiento transaccional, como entender la causa raíz de los eventos en lugar de solo registrar lo que sucedió, mientras que los sistemas tradicionales muestran datos históricos, esta tecnología permite analizar el comportamiento orgánico de los procesos para comprender por qué ocurren ciertos resultados. Otro beneficio crucial es la capacidad de predicción, lo que permite tomar medidas proactivas para evitar crisis o problemas de abastecimiento” (Entrevistado 10).

Etapa 2: Ventajas y desventajas

Ítem 5: ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?

En esta consulta, al evaluar la retroalimentación a la pregunta número cinco, detectamos un 60% que conceptualizó como dificultad la **resistencia al cambio**, reforzada con expresiones similares a: “La mayor limitación básicamente es, en general, como en muchos lados, las estructuras conservadoras que a veces tienen los grupos gerenciales, porque cualquier cambio requiere apoyo del máximo nivel de la gerencia, primero que nada” (Entrevistado 1), o en “El factor humano siempre es una limitación” (Entrevistado 7), como así “La industria minera es reticente al cambio. Hay una cultura donde se prefiere mantener los sistemas existentes, que incluso las áreas de TI avalan” (Entrevistado 9). Asimismo, un 20% describe como otra dificultad el **riesgo en el manejo de información**, sosteniendo que: “Esta tecnología no es para todas las empresas. Por lo tanto, el día mañana, cuando el proveedor del servicio Blockchain puede retirarse sin más, ahí se corre un riesgo de cómo la información puede ser mal usada” (Entrevistado 2). Finalmente, también con un 20% explica la dificultad con la idea de **falta de capacitación y adaptación a los sistemas existentes**, con base en comentarios como: “Es posible que se requieran actualizaciones y adaptaciones con los sistemas existentes para asegurar la compatibilidad” (Entrevistado 5).

Ítem 6: ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?

Al examinar los resultados generales de la pregunta seis del cuestionario, podemos detectar que un 60% asocia la noción de **estandarización de procesos** respecto de la adecuación de los procedimientos de adquisición de suministros respecto cómo se hacen las cosas, reflejada en frases como: “Desde la fabricación hasta la operación y mantenimiento del equipo, también se deben tener modelos de procedimientos compactos” (Entrevistado 3) y “Se deben estandarizar los procesos y ser más estrictos con ellos para tomar decisiones más informadas sin depender de una persona” (Entrevistado 6). Luego, y con un 20%, el concepto de **mejora continua** es refrendado con la percepción: “Crear un contrato inteligente en Blockchain debe

ser realimentando y viendo qué cosas mejorar, midiendo resultados y adecuando los requerimientos para hacer diferentes contratos” (Entrevistado 1). Finalmente, un 20% expresó que **no maneja procedimientos específicos**, debido a su rol de cliente dentro del proceso, declarando: “Debido a que soy usuario, no manejo los procedimientos de adquisiciones” (Entrevistado 7).

Etapas 3: Factores para la implementación

Ítem 7: ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?

En la pregunta siete del cuestionario, si revisamos los resultados generales, nos encontramos que un 50% de los entrevistados destaca a la **aversión a la innovación** como amenaza para los proyectos, lo que se manifiesta en respuestas como: “Desafíos adaptativos, que el cliente interno entienda los beneficios de la tecnología y que lo quiera asumir” (Entrevistado 3) y “Reconozco que algunas personas pueden resistirse al cambio y sentir que pierden el control del proceso de adquisiciones” (Entrevistado 4). Por otro lado, un 30% cita a la **familiaridad con proveedores**, entendida desde la perspectiva de costumbre y conocimiento del comportamiento, rendimiento y cumplimiento de estos, genera una confianza con ellos, lo que se puede interpretar como amenaza, con frases como: “Una amenaza sería que este es un sistema que no se basa en la confianza con los proveedores, porque esa confianza es subjetiva. En las estructuras que son privadas, la licitación hasta ni siquiera es necesaria (Entrevistado 1). Por último, un 20% se enfocó en **actualización de registros** que se expresa en respuestas como: “En una empresa que provee sistemas muy especializados, todo el tiempo evolucionan en su diseño para hacerlo más eficiente, más económico, más funcional o simplemente mejor desde el punto de vista físico, químico, eléctrico, pero creo que podría ser un poco más complicado implementarlo, puesto que los registros, las bases de datos de ese sistema blockchain estarían continuamente cambiando y sería sumamente complejo controlar cada registro y cada información interna en ese sistema para que funcione de manera fluida” (Entrevistado 5).

Ítem 8: ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?

Si observamos los resultados generales de la consulta número ocho, encontraremos que un 70% determina como manera de implementar BC la idea de un proceso **por etapas**, reforzado con declaraciones como: “puede ser de forma paulatina. Un subproceso, la misma administración de los estados de pago para el proveedor, verlo a través de esta tecnología” (Entrevistado 2), también en comentarios como “Se debe realizar una implementación por etapas, asegurando que cada etapa se entienda y documente bien antes de pasar a la siguiente” (Entrevistado 7) y “Hacer maquetas inofensivas para mostrar a las personas los beneficios de la tecnología. Luego, realizar un piloto controlado para abrir puertas a la aceptación del cambio. La estrategia debe enfocarse en modificar el pensamiento de las personas, ya que la tecnología funciona bien” (Entrevistado 10). Un 20% describe otro modo de implementación **a pequeña escala** reflejado en opiniones equivalentes a: “Empezaría con una pequeña prueba para poder ver, por ejemplo, cómo se cumple el proceso completo” (Entrevistado 1). Para finalizar, un 10% manifiesta el concepto de una **adopción dirigida por el cliente**, descrito en respuestas similares a: “En la medida que el cliente lo solicite, lo empiece a exigir desde la óptica del cliente, podrá destacar los beneficios de la adopción” (Entrevistado 3).

Ítem 9: ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?

Si chequeamos los resultados de la pregunta nueve de la entrevista, se evidencia que el 90% de los entrevistados se catalogan como **sin experiencia** en proyectos de implementación de blockchain. siendo las respuestas más destacadas: “No tengo experiencia directa, pero he seguido el crecimiento del blockchain y estoy de acuerdo con su aplicación en el contexto de la trazabilidad” (Entrevistado 1) y “No posee experiencia en la implementación de Blockchain, aunque ha leído sobre el tema, esto porque estoy más involucrada en el lado comercial y de relaciones que en el lado tecnológico” (Entrevistado 7). Por lo tanto, solo el 10% (1 de 10) se declara **con experiencia** en implementación de Blockchain, respaldado con la siguiente respuesta: “Tengo experiencia en la implementación de blockchain en dos empresas mineras, con resultados sorprendentes. Se han implementado en proceso de auditoría que alerta sobre desviaciones, y una solución para el manejo de regulaciones”

(Entrevistado 10). Este resultado es reflejo, además, de las respuestas a la consulta número 3 del sondeo.

Ítem 10: ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de alguna estrategia de implementación?

Si verificamos las respuestas a la décima consulta del cuestionario, primero vemos que el 30% distingue como una preocupación principal el concepto de **adaptabilidad a la industria**, indicando ideas como: “Que la tecnología blockchain no esté integrada con el resto de la tecnología que les da soporte a los procesos de negocio. Es importante tener una mirada holística y transversal de la arquitectura empresarial” (Entrevistado 9) y “Existe una brecha entre el conocimiento tecnológico disponible y el conocimiento que poseen las personas que trabajan en las compañías, lo cual puede dificultar la comprensión y adopción de nuevas tecnologías. Esta brecha se agranda constantemente si los profesionales no se actualizan al ritmo de los avances tecnológicos” (Entrevistado 10). Por otra parte, un mismo 30% indica la idea de **cantidad de transacciones**, entendido como preocupación por la capacidad de BC, que es representada con proposiciones como: “La necesidad de mantener actualizadas las bases de datos de blockchain con los cambios continuos en los productos podría ser un desafío tedioso y complejo, esto puede generar retrasos que impactan la operación y el montaje, especialmente cuando no hay margen de tiempo” (Entrevistado 5). Con un 20%, conceptualiza como preocupación al implementar blockchain con **confidencialidad de la información** reforzada con expresiones como: “En la adaptabilidad conductual existe preocupación por la confidencialidad de la información en los proyectos, que es estratégica” (Entrevistado 3). Luego con que el 10% sostiene que una preocupación para la aplicación de una estrategia de implementación de BC es la **urgencia de los proyectos**, señalando: “La urgencia es lo peor para una estructura de contrato, ya que esta implica saltar pasos y produce sesgos.” (Entrevistado 1). Finalmente, un 10% señala estar **sin claridad** respecto a este ítem, respondiendo “No lo tengo claro” (Entrevistado 4).

2.4.2 Análisis de datos cuantitativos (Encuestas)

En la encuesta participaron 31 personas con las características indicadas en las Tablas III a la V. La encuesta presentó 3 secciones: la primera para caracterizar a las personas encuestadas, la segunda para informar el contexto de la encuesta, principalmente para explicar la definición de blockchain y sus particularidades, y la tercera, la encuesta propiamente tal, donde 3 preguntas fueron de selección única, 3 de selección múltiple y 1 con escala de Likert con 5 consultas, siendo la duración promedio de la encuesta menor a 6 minutos. Esta se realizó de forma online entre el 15 de febrero y el 14 de marzo de 2025 y fue enviada vía email a personas seleccionadas a conveniencia dada su experiencia en proyectos y adquisiciones, para luego publicarla en la red profesional LinkedIn.

Los resultados más importantes fueron:

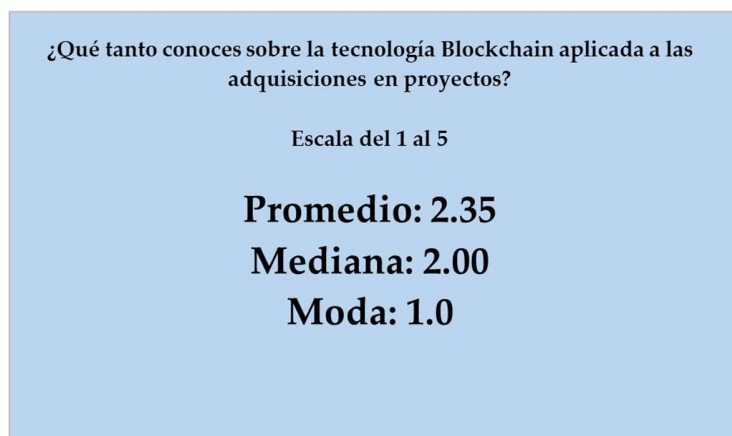


Figura 2: Nivel de conocimiento de blockchain (fuente: elaboración propia)

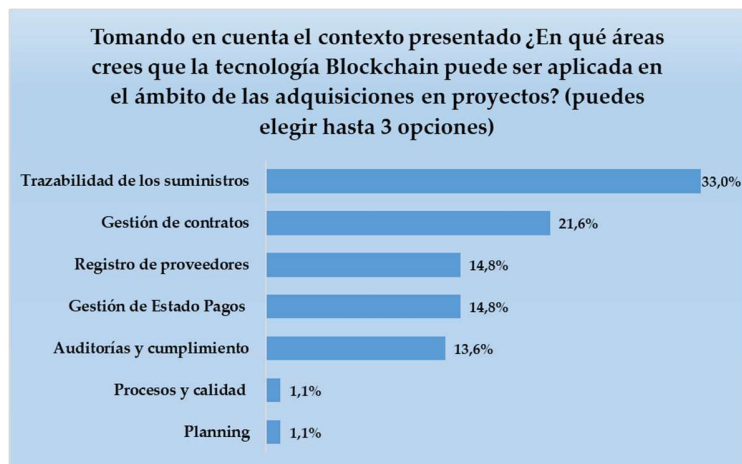


Figura 3: Aplicabilidad de blockchain (fuente: elaboración propia)

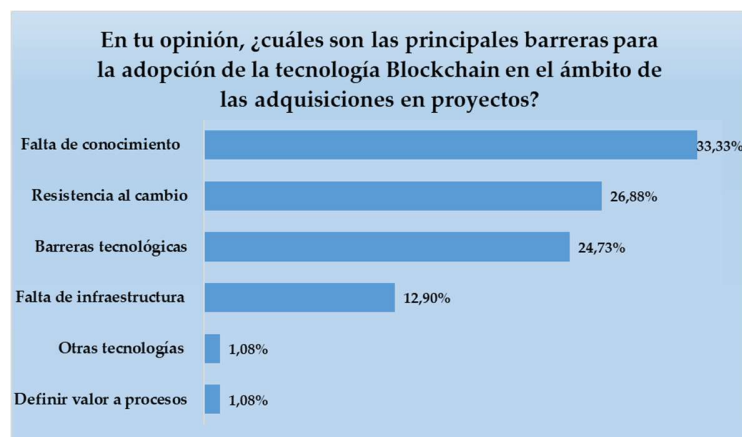


Figura 4: Barreras de adopción (fuente: elaboración propia)

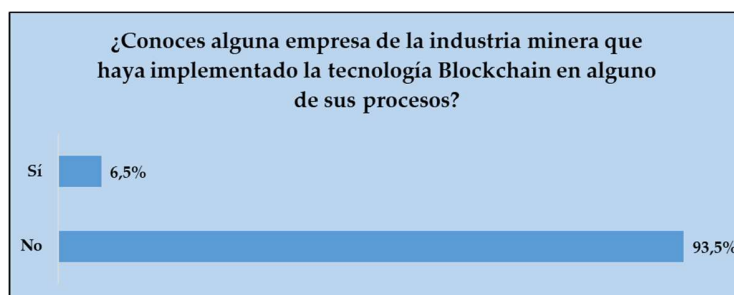


Figura 5: Conocimiento de implementación blockchain (fuente: elaboración propia)

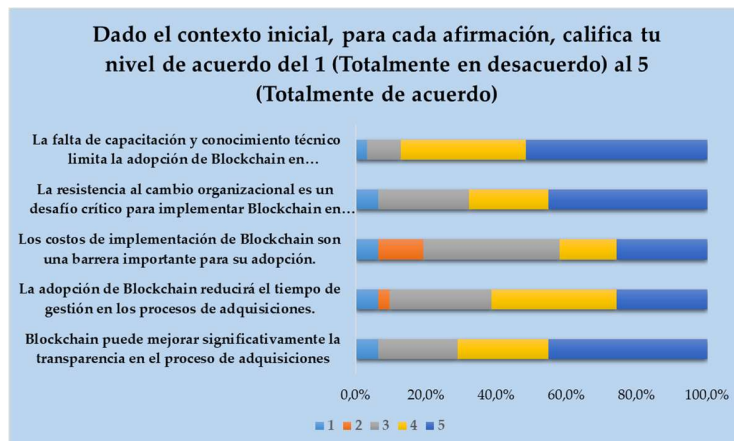


Figura 6: Escala de Likert (fuente: elaboración propia)

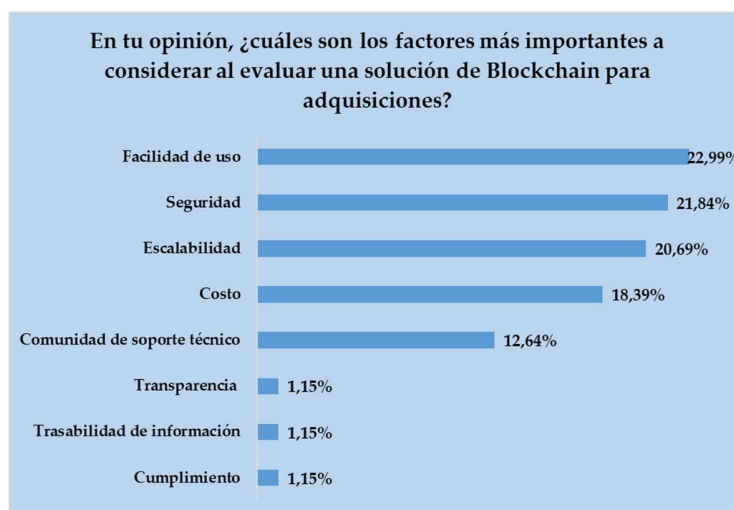


Figura 7: Factores para evaluación de solución Blockchain (fuente: elaboración propia)

2.5 Discusión de resultados

Considerando la primera etapa de las entrevistas de **Etapa 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad**, es evidente que las personas que participaron tienen un pleno conocimiento del proceso de adquisiciones, en especial en su control y trazabilidad. También podemos observar cuales son los principales retos del mismo proceso acrecentando sus respuestas a los conceptos tiempos de respuestas y calidad, y pérdida de valor y flujos de

trabajo inadecuados, que podríamos asociar al triángulo de aspectos principales de un proyecto, también conocido como triple restricción: alcance, costo y tiempo, a pesar de que hoy en día se ha ampliado los aspectos de afectación de los proyectos al incluirse las perspectivas de índole social y ambiental que proporcionarán una respuesta a las expectativas de los stakeholders, garantizando la generación de valor a través del esfuerzo colectivo efectuado durante la ejecución de los proyectos (Moreno Monsalve et al., 2023). No obstante, se manifiesta claramente un desconocimiento importante de la BC en todas las áreas de desempeño de las personas entrevistadas, independiente de su actividad, rango etario y experiencia. Esto es un riesgo asociado a cómo se asumen las nuevas tecnologías. No podremos establecer que sin ese conocimiento no se pueda adoptar tal tecnología. En el ámbito informático se señala que los usuarios no necesariamente deben saber cómo está estructurada una aplicación, sino solo deben usarla, atendiendo a que ese uso no depende explícitamente a ese conocimiento y que los usuarios potenciales carecen de conocimiento acerca de las capacidades de la BC, debido a que las interfaces de ella aún no están ampliamente accesibles para todos los interesados, lo que dificulta la comprensión completa de su potencial, tal como lo indica Heim (2022). Esto se refuerza con los resultados de la encuesta donde el mayor porcentaje, un 33%, indica que una barrera principal para la adopción de la BC es la falta de conocimiento, que se verifica con el 60% de los entrevistados sin conocimiento, evidenciando convergencia.

Respectos a los beneficios operativos de la implementación de la BC el rasgo más repetido es el trazabilidad de la adquisición, que se puede interpretar como una creciente preocupación o reto del proceso de adquisiciones, tomando en cuenta que, dada la estructura del mercado, un maquinaria o equipamiento para un proyecto puede ser manufacturado por diferentes fabricantes en países distintos para luego ser ensamblado por el proveedor principal (fabricante de equipos originales, OEM por sus siglas en inglés), emergiendo muchas veces la falta de información del progreso y apego a las especificaciones técnicas de cada componente, generando incertidumbre respecto al cumplimiento de plan maestro del proyecto, con el consabido impacto que pudiese provocar algún retraso. Tal como lo manifiestan Fortuna y Gaspar (2022), el objetivo de la trazabilidad es llevar a cabo el control fabril de un artículo específico, documentar las diversas etapas de su ciclo de producción, asegurar una calidad superior, incrementar la visibilidad en la cadena de suministro y, consecuentemente, mejorar

la seguridad. Esto se debe a que la trazabilidad contribuye a la disminución de la tasa de desaparición, extraversión y pérdida de productos (Fortuna y Gaspar, 2022). Esta perspectiva se reafirma con el resultado en conjunto del 55% de encuestados que indicaron como área de aplicabilidad de la BC la trazabilidad y gestión contractual.

La segunda etapa que establece las **ventajas y desventajas** de la adopción de blockchain, punto focal de esta investigación, demuestra que la resistencia al cambio, de operadores y clientes, y la estandarización de procesos es muy importante dentro del proceso. Debemos entender que la BC tiene características intrínsecas, como, por ejemplo, inmutabilidad de datos, descentralización en la gobernanza, encriptación de la información, distribución del registro, algoritmo de consenso para tomar decisiones, entre otras; y cuáles de ellas contribuirían al proceso de adquisiciones. Según los resultados expuestos, una clara desventaja es la resistencia al cambio, la cual está distribuida en diferentes fuentes inherentes al sector donde se produce y que es parte del desarrollo humano desde siempre, expresándose de manera activa o pasiva, individual o grupal, y manifestándose como miedo a lo no conocido, pérdida de control, falta de conocimiento o de habilidades, esfuerzo o tiempo de aprendizaje, cultura organizacional, amenazas a la estabilidad laboral, etc., para lo cual existen medidas de mitigación que no se analizan en este artículo. Sin duda, la resistencia al cambio puede llevar la adopción e implementación de una tecnología al fracaso (Ito et al., 2021). Los datos de la encuesta sobre barrera de la adopción de blockchain definen a la resistencia al cambio como segundo aspecto con un 26%, sin ser mayoría, pero levantándolo como tema importante, también convergiendo.

Para la etapa de investigación de **factores para la implementación**, explora amenazas, preocupación y la forma para implementar la BC en la gestión y trazabilidad de adquisiciones para proyectos en la industria minera. Las amenazas con mayor mención son aversión a la innovación y adaptabilidad a la industria que, a diferencia a la resistencia al cambio mencionada anteriormente, se refieren a la confianza de personas que no operan dentro del proceso, sino que son stakeholders, tomando en cuenta la 'idiosincrasia', definida como la cultura dentro del mundo minero, también como un factor a evaluar cómo se debe adoptar una tecnología. Así lo evidencia Ito et al. (2021), al identificar como una fuente de resistencia al cambio tecnológico el 'sentimiento de inadecuación' confirmado por la frase 'No nos gusta

experimentar cambios debido a que siempre hemos hecho las cosas de una manera específica’.

2.6 Estrategia de implementación

Para presentar la propuesta de estrategia para la implementación de la tecnología BC para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos mineros, se deben analizar las ventajas y desventajas de BC mediante un análisis FODA:

Fortalezas (Factores internos positivos):

- Dominio detallado del proceso de adquisiciones.
- Preocupación por la trazabilidad de las adquisiciones.
- Enfoque en la calidad y tiempos de respuesta.
- Alineación con el triángulo de restricciones (alcance, costo, tiempo).

Debilidades (Factores internos negativos):

- Desconocimiento de la tecnología blockchain.
- Resistencia al cambio.
- Cultura organizacional conservadora.
- Dependencia de procesos tradicionales.

Oportunidades (Factores externos positivos):

- Potencial de mejora en la trazabilidad.
- Generación de valor para stakeholders.
- Alineación con tendencias globales.
- Mejora en la gestión contractual.

Amenazas (Factores externos negativos):

- Aversión a la innovación.
- Estandarización de procedimientos.
- Amenazas a la estabilidad laboral.

- Adaptabilidad a la industria.

Fortalezas vs. Oportunidades:

- El hecho de que exista un dominio detallado del proceso de adquisiciones entre los profesionales de proyectos y de compras, sumado a la preocupación por la trazabilidad, determinan fortalezas que deben ser aprovechadas como pilar para la adopción del BC y mejorar la eficiencia en la gestión y trazabilidad de adquisiciones. Además, la alineación con las tendencias globales de transformación digital y la generación de valor para stakeholders, determinan oportunidades que se pueden potenciar con la adopción de BC.

Debilidades vs. Amenazas:

- La falta de conocimiento de la tecnología BC y la resistencia al cambio asoman como debilidades evidentes, que entre ellas se transforman en una barrera muy fuerte, y que podrían ser mitigadas a través de programas de capacitación en conjunto con una comunicación efectiva, reforzando el pensamiento innovador en la organización de proyectos y de compras. Por otro lado, una cultura organizacional conservadora y el esfuerzo por mantener actualizados los procedimientos de compras en línea con la tecnología, se avizoran como las principales amenazas.

Líneas estratégicas recomendadas:

- Capacitación y sensibilización: Implementar programas de capacitación para reducir el desconocimiento de Blockchain y fomentar una cultura de innovación, en conjunto con una comunicación efectiva para dar a conocer los beneficios operativos de BC de manera clara y transparente para reducir la resistencia al cambio.
- Pilotos y casos de éxito: Implementar proyectos piloto para demostrar el valor de Blockchain y generar confianza entre los stakeholders, con iteraciones y mediciones constantes que permitan la mejora continua.

Se establece que la mejor forma de implementar BC para el control y trazabilidad de suministros en proyectos en la industria minera, es por medio de un proyecto piloto, donde la primera parte de este es abordar las dos primeras líneas estratégicas para reducir el desconocimiento de la tecnología y sus características, fomentando una cultura de

innovación, además, con la comunicación efectiva, disminuir la resistencia al cambio y comprometer a los stakeholders a colaborar activamente en este piloto.

Tabla VII: Ventajas y desventajas del Blockchain

Categoría	Factores
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial de mejora en la trazabilidad. - Generación de valor para stakeholders. - Alineación con tendencias globales. - Mejora en la gestión contractual.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento de la tecnología blockchain. - Resistencia al cambio. - Falta de interfaces accesibles. - Dependencia de procesos tradicionales.

Estrategia propuesta

Dentro de la organización de proyectos, el área de adquisiciones debe tener el rol de articulador de la implementación de BC, definiendo a su vez el resto de los roles y responsabilidades. Para el piloto propiamente tal, se debe decidir dónde aplicarlo en las etapas del proceso de compras, con la idea de encapsular su efecto respecto de procesos estratégicos y críticos. Para este caso se propone comenzar con suministro para proyectos genéricos no especiales, entendiendo que pueden ser utilizados en muchos proyectos sin afectar la seguridad, el alcance, el costo ni la calidad de estos, como por ejemplo pernos, andamios, cables, escalerillas eléctricas, gabinetes, estructuras livianas menores, etc. De los montos de las adquisiciones se propone comenzar con aquellas de menor cuantía, que generalmente en la industria minera son las menores a veinte mil dólares (20 KUSD). Se deben seleccionar proveedores que estén dispuestos a participar en este piloto, definiendo el rol que deben asumir. Finalmente, se sugiere utilizar una metodología agile, la cual permitirá un incremento paulatino en la propuesta de valor del piloto. Se debe contemplar un aumento en los montos de negocios y moverse hacia las compras de proyectos de menos a más críticos, de acuerdo con el valor entregado por la implementación.

3 ARTÍCULO

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

Gestión y trazabilidad de adquisiciones para proyectos mineros: Beneficios de la tecnología blockchain

Wilson Salazar Berenguela

*Graduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de
Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo,
w.salazarb@udd.com*

Resumen:

Este trabajo presenta una descripción de los beneficios operativos que implica la adopción de la tecnología blockchain (BC) o cadena de bloques en la gestión y trazabilidad de adquisiciones durante la fase final de aprovisionamiento de suministros para proyectos en la industria minera. El objetivo de esta investigación es determinar los beneficios operativos de la adopción de Blockchain en la gestión y trazabilidad de las adquisiciones de suministros, evaluando los aspectos positivos y negativos de su aplicabilidad, para la definición de una estrategia de implementación adecuada. Para lograrlo, se plantea una aproximación mixta de investigación. En el ámbito cualitativo, considera diez entrevistas semiestructuradas a gerentes de primera línea en minería y proveedores, ingenieros de compras y analistas de adquisiciones, los cuales han sido seleccionados a conveniencia, debido a su experiencia y roles en la gestión de proyectos y compras. En el ámbito cuantitativo, se llevará a cabo una encuesta en línea dirigida a profesionales del área de adquisiciones, contratos y proyectos, con una muestra a conveniencia y aleatoria, considerando al menos 30 participantes. Los datos muestran que, más de la mitad de los participantes del presente estudio no conoce la tecnología BC, y casi todos indican que nunca han conocido una implementación. También, se observa que uno de los beneficios operativos percibidos con la adopción de BC es la mejora en la trazabilidad de los suministros, especialmente en un mercado donde la fabricación está distribuida en diferentes lugares. Sin embargo, la resistencia al cambio y la dependencia de procesos tradicionales en las adquisiciones para proyectos mineros se realzan como desventajas significativas. En síntesis, el análisis revela que la implementación de la tecnología Blockchain posee potenciales considerables, tales como la mejora de la trazabilidad y la generación de valor para los stakeholders, siempre que se atiendan de manera adecuada las desventajas identificadas. Por consiguiente, resulta esencial llevar a cabo una estrategia inicial que enfatice el valor de la tecnología Blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos mineros, y que disminuya la resistencia al cambio y promueva la confianza entre los actores implicados, empleando una metodología que facilite un incremento progresivo y cuantificable en la promesa de valor.

PALABRAS CLAVE: Blockchain, innovación tecnológica, gestión de suministros, resistencia al cambio, estrategia de implementación

1. Introducción

Las adquisiciones en el sector minero se caracterizan por su continuidad, abarcando desde materiales fungibles en la gestión y las operaciones hasta la adquisición de grandes equipos para las diversas áreas de producción, incluyendo chancadores, molinos, espesadores, entre otros. Además, incluyen todos los equipos que facilitan el proceso productivo, incluyendo instrumentos y software de control, válvulas, tuberías, componentes eléctricos y estructuras metálicas, entre otros. Estos procesos de

adquisición deben ser planificados desde la formulación del requerimiento, que determina la demanda de un bien, hasta su llegada al sitio (on site) o al almacén (off site) para su utilización inmediata o subsecuente. El estándar de gestión de proyectos sugerido por el Project Management Institute (PMI) se emplea como referencia, tal como se especifica en la guía PMBOK 7^a edición o Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos. Esta versión adopta un enfoque fundamentado en principios, permitiendo a los profesionales ajustar las prácticas de acuerdo con las exigencias del contexto del proyecto. El

estándar proporciona un fundamento robusto de conocimientos y prácticas óptimas en la administración de proyectos, incorporando principios y dominios vinculados a la labor del proyecto. En el presente escenario, se considera pertinente el campo vinculado a la administración de adquisiciones, que comprende la adquisición de bienes y servicios indispensables para el éxito del proyecto. De acuerdo con la 7.a edición del PMBOK, la Dirección de Proyectos se enfoca en la generación de valor y los resultados esperados, poniendo énfasis en la consecución de metas estratégicas, la satisfacción de los interesados (stakeholders) y el éxito del proyecto. En el contexto de la administración de adquisiciones, se aconseja la implementación de estrategias adaptativas que aseguren un control efectivo a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Institute, 2021).

Control y trazabilidad de adquisiciones PMI

El control y trazabilidad de transacciones en las adquisiciones para proyectos en minería es crucial por varias razones, entre otras, la gestión eficiente de recursos financieros, la reducción de los riesgos asociados con proveedores, contratos y pagos; cumplimiento normativo y legal (todas las transacciones se deben realizar de acuerdo con las regulaciones locales e internacionales, incluidas las relacionadas con la compra de equipos de seguridad, protección ambiental y derechos laborales); optimización de procesos; mejora de la transparencia y la rendición de cuentas (Rodrigues et al., 2021).

De la misma manera, y tal como plantea Rodrigues et al. (2021), se debe controlar el alcance original, los costos, el plazo de entrega, los documentos de la orden de compra y sus documentos integrantes (consultas y respuestas, especificaciones técnicas, aclaraciones, etc.); calidad de los bienes adquiridos. Los datos son provistos por los profesionales a cargo de las compras, tales como cronograma, costos y desempeño.

Las adquisiciones son un costo importante en cualquier tipo de proyectos. La adquisición ineficiente aumenta el gasto y la duración del proyecto. Por ejemplo, en el negocio de la construcción tiene una eficiencia insuficiente en la gestión de la adquisición. Para satisfacer las exigencias de esta industria, la gestión de la información de la construcción debe ser más eficiente. La cadena de bloques permite el intercambio seguro de datos de adquisiciones y las compras de materiales (Ara et al., 2021).

Tecnologías para la gestión

Las principales aplicaciones usadas en adquisiciones de bienes en minería son e-commerce, siendo el más importante en Chile: SAP Ariba. También se utilizan planillas electrónicas como Microsoft Excel y Google Sheet, software de Business Intelligence (BI), entre otros Microsoft Power BI y Tableau, software de gestión de bases

de datos, entre ellos Microsoft Access y Oracle, principalmente, lenguajes de consultas y programación como SQL y Python. Otras aplicaciones importantes son los ERP tales como SAP y Ellipse, y sistemas de gestión de inventarios y almacenes, para el control de inventario y almacenamiento (Althabatah et al., 2023).

El e-commerce, se utiliza para controlar el cronograma de la adjudicación de la compra, acompañando todo su proceso, desde la invitación hasta la adjudicación. Las planillas electrónicas, se ocupan para hacer seguimiento al alcance propiamente tal, desde la lista de componentes y subcomponentes (packing list), costos, y checklist de control y calidad en general (IBM Blockchain, 2024).

Los softwares BI ayudan a convertir los datos en información significativa para la toma de decisiones. Los softwares de gestión de bases de datos tradicionales (DBMS, por sus siglas en inglés) son utilizados para administrar, organizar y manipular datos de manera eficiente. Los lenguajes de programación se pueden usar para transformar los datos, realizar consultas a las bases de datos, ETL, etc., y también para generar algoritmos de búsqueda, categorización, regresiones lineales, etc. También, son utilizados sistemas ERP, de gestión de inventarios y almacenes, para determinar la llegada y dónde se almacenan: en bodegas fuera del sitio del proyecto, en sitio o en el mismo lugar dónde se realiza el proyecto, etc. (IBM Blockchain, 2024).

Tecnología blockchain

La tecnología blockchain, un sistema de registro descentralizado resguardado por medio de protocolos criptográficos ha captado la atención debido a su habilidad para asegurar la integridad y confidencialidad de la información. En su introducción inicial con el sistema de pago electrónico Bitcoin por "Satoshi Nakamoto", la utilidad de la tecnología blockchain ha trascendido considerablemente el dominio de las criptomonedas, hallando aplicaciones en diversos sectores, incluyendo el gobierno, la logística, la salud y la administración. Las principales características de esta tecnología son la descentralización, la inmutabilidad y la seguridad. Pese a su potencial, la implementación de la tecnología blockchain en diversos dominios se encuentra sujeta a múltiples obstáculos (Bahar et al., 2024).

Como lo indican Kaur et al. (2025), la evolución de la cadena de bloques implica la interconexión de diversas organizaciones productivas, la adopción de la digitalización basada en las últimas tecnologías y la perspectiva de hacer accesibles no solo los datos, sino también los activos valiosos para un público más amplio. Esta cadena de bloques ofrece a las empresas un nuevo modelo de comunicación, interacción y confianza, lo que, a su vez, demanda un nivel creciente de seguridad y resguardo de la privacidad; la garantía de existencia u origen y la trazabilidad se vuelven cada vez más relevantes.

Confiar en registros temporales e integridad de datos puede ser esencial.

Por ello, Blockchain tiene el potencial de revolucionar la forma en que las empresas encaran el futuro, proporcionando una mayor seguridad y calidad de datos. El impacto de esta tecnología puede abarcar todas las áreas empresariales, desde contabilidad y cadena de suministro hasta innovación, financiamiento y lealtad de clientes (Kaur et al., 2025).

Aunque el entusiasmo por Bitcoin ha disminuido, se ha sumado curiosidad por las criptomonedas; el deseo de crear tecnología blockchain sigue siendo fuerte debido a las numerosas ventajas que podría brindar a muchas industrias. Sin embargo, debido a su naturaleza y la interconectividad de sus subsistemas, el proceso de generación y utilización del valor de sistemas Blockchain presenta una serie de desafíos. (Zavolokina et al., 2024)

De acuerdo con lo indicado en el Boletín N° 387, Facilitación, comercio y logística en América Latina y El Caribe (Cepal), de los autores Díaz et al. (2021), la tecnología Blockchain es relativamente nueva y, desde sus comienzos, ha estado estrechamente vinculada al mundo financiero, especialmente a las criptomonedas. Sin embargo, su crecimiento y evolución constante han ampliado sus aplicaciones hacia industrias como la cadena de suministro, la gobernanza y la gestión de identidades, entre otras. Esto se debe a sus fortalezas en términos de seguridad, privacidad, integridad de datos y eficiencia en la transferencia de información, con base en la descentralización y la distribución de la base de datos.

Desde el punto de vista netamente técnico, el término Blockchain (cadena de bloques en español) es una estructura de datos que almacena la información de forma concatenada con la información de los bloques anteriores. El término fue acuñado el 31 de octubre de 2008, por Satoshi Nakamoto en su documento "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", donde el también creador de la criptomoneda bitcoin, explicaba la esencia de la tecnología de Blockchain para generar una versión digital del efectivo capaz de ser transferida entre dos entidades sin la necesidad de la participación de un tercero que actuara como intermediario y ministro de fe de la transacción (Díaz et al., 2021; Nakamoto, 2008).

Esto representó un cambio significativo en el modelo transaccional aún vigente hoy en día, donde la intervención de un tercero de confianza, generalmente entidades bancarias, es esencial para validar la autenticidad de una transacción y la propiedad del activo intercambiado (Díaz, et al., 2021).

De acuerdo con Díaz et al. (2021), para llevar a cabo este proceso, Blockchain propone un modelo transaccional basado en la confianza entre los participantes sin la necesidad de intermediarios, utilizando el conocimiento

colectivo. En este modelo, todos los participantes tienen acceso a la información existente y, por lo tanto, la capacidad de validar una transacción, así como de registrar un historial de las transacciones realizadas.

Cada bloque se firma digitalmente por el propietario e incluye los datos relevantes de la transacción, un sello de tiempo y el hash del bloque anterior, para enlazar todos los bloques que componen la cadena. Es importante comprender el funcionamiento del algoritmo utilizado para obtener el hash de cada bloque (Díaz et al., 2021; Nakamoto, 2008).

La principal ventaja de la tecnología Blockchain radica en su capacidad para proporcionar seguridad a la información, gracias a características como la inmutabilidad e inalterabilidad de los datos, así como la capacidad de rastrear los registros de las operaciones a lo largo del tiempo. Estas propiedades convierten a la Blockchain en una herramienta eficiente y efectiva para la gestión y seguimiento de proyectos, así como para las adquisiciones asociadas, lo que contribuye a generar confianza entre las partes interesadas. Además, promueve la transparencia en los flujos de información y reduce los tiempos entre solicitudes durante el ciclo de vida de los proyectos. En resumen, la Blockchain ofrece una solución sólida para mejorar la seguridad, la transparencia y la eficiencia en la gestión de proyectos y adquisiciones (Elsharkawi et al., 2025).

Cabe recordar que el concepto de bases de datos distribuidas tiene su raíz en los sistemas de bases de datos centralizados surgidos en los 60 y 70. En los 80 se desarrollaron algunas aplicaciones de esta, dada las necesidades de las corporaciones, principalmente en Estados Unidos, de centralizar los datos de las filiales dispersas en todo el territorio. Teniendo como principales falencias la seguridad de los datos, la inmutabilidad de los datos y la transparencia de las transacciones (Nakamoto, 2008).

La BC está ganando adeptos tanto en el mundo industrial como en el mundo académico, lo que ha generado investigaciones en diferentes ámbitos, desde la manufactura hasta la cadena de suministros. Sobre esta última no existe tanta literatura, en especial dándole el carácter de digital, con pocas investigaciones al respecto (Kaur et al., 2025).

Sin embargo, para Zavolokina et al. (2024), se debe tener cautela porque los participantes tendrán confianza si la tecnología es confiable, y como todo sistema no es completamente vulnerable, siempre existirá la probabilidad de ataques cibernéticos a las aplicaciones que se basan en Blockchain, y por lo demás, como cualquier actividad humana, ningún sistema está protegido de la corrupción de las personas ni de sus conflictos de interés.

Tabla I: Comparación Blockchain y bases de datos tradicionales

Característica	Blockchain	Bases de datos tradicionales
Estructura	Cadena de bloques enlazados y descentralizados.	Tablas relacionales centralizadas o distribuidas.
Gestión de datos	Inmutable, cada transacción es permanente.	Datos modificables y actualizables.
Seguridad	Alta, basada en criptografía y consenso.	Protegida por permisos y encriptación.
Descentralización	Sí, operada por múltiples nodos.	Generalmente centralizada en un servidor.
Transparencia	Total, cualquiera puede verificar transacciones.	Controlada, acceso limitado por permisos.

Experiencias internacionales exitosas en control y trazabilidad

Algunos casos de éxito mencionados en la web IBM Blockchain, (2024):

- i. The Home Depot está empleando IBM Blockchain para acceder a información en tiempo real, compartida y confiable sobre sus productos durante el proceso de envío y recepción. Esto disminuye los desacuerdos con los proveedores y agiliza su resolución.
- ii. eProvenance: Salvaguardando la calidad y la integridad del vino mediante BC. Explora cómo la visibilidad en la cadena de suministro y la construcción de confianza ofrecen beneficios significativos.
- iii. Atea se une a la Asociación Noruega de Productos del Mar, Nova Sea, BioMar e IBM para establecer un estándar en la industria de productos del mar mediante BC. Descubre cómo esta red respalda la transparencia, sostenibilidad e integridad alimentaria en el sector.
- iv. Maersk emplea la cadena de bloques de IBM para desarrollar una plataforma que monitorea los contenedores de envío, mejorando así la visibilidad de la cadena de suministro y reduciendo los tiempos de entrega.
- v. Nestlé utiliza Blockchain para rastrear el café que adquiere, asegurando su sostenibilidad y producción ética.

Otros casos exitosos de implementación de cadena de bloques se encuentran en la industria automotriz. Esta tecnología ha sido empleada para potenciar la trazabilidad y transparencia en la cadena de suministro de vehículos,

asegurando que toda la información relacionada con su fabricación y mantenimiento esté accesible y protegida contra alteraciones. Además, Blockchain ha sido utilizado en la gestión de vehículos conectados, mejorando así la seguridad y eficiencia en este sector (IBM Blockchain, 2024).

Se nombran, además, estos usos destacados:

- i. Carrefour optó por utilizar la Plataforma Food Trust de IBM y comenzó en 2018 a rastrear puré de papas y leche. Su meta es incluir el 20% de sus productos internos en la cadena de bloques.
- ii. KPMG lanzó la plataforma de seguimiento y localización basada en BC, "Orígenes de KPMG", en Australia, China y Japón. Esta plataforma está diseñada para respaldar industrias como la agricultura, recursos naturales, manufactura y servicios financieros.
- iii. Walmart se asoció con IBM para la seguridad alimentaria mediante BC y contratos inteligentes. Con un sistema de cadena de bloques impulsado por tejido de hiperlibro, la empresa puede rastrear los orígenes de los productos, mejorando la transparencia operativa y la rendición de cuentas interna.

Mediante los contratos inteligentes, todos los involucrados en la cadena de suministro pueden monitorear la ubicación de los artículos. Esto significa que, si un artículo se extravía durante el proceso, los contratos inteligentes tienen la capacidad de identificar su ubicación. Asimismo, pueden automatizar tareas y pagos periódicos, eliminando la necesidad de comunicación a través de documentos. Este es claramente uno de los casos de uso más destacados de los contratos inteligentes en las empresas de comercio a gran escala (IBM Blockchain, 2024).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de adoptar la tecnología Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera?

En efecto, la tecnología BC no ha tenido un desarrollo sostenido en la industria minera, principalmente por el desconocimiento de sus beneficios en gestión de transacciones, seguridad criptográfica y trazabilidad inmutable. No obstante, los obstáculos para su implementación pueden ser superados gracias a la capacidad transformadora de BC para optimizar elementos cruciales de la de la actualidad

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido el potencial que puede aportar la tecnología BC a la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos mineros. Esto es especialmente relevante en

cuanto a la transparencia, seguimiento, seguridad, automatización, eficiencia y confianza y registro de la información. Se propone entonces una estrategia que permita la incorporación de soluciones avanzadas vía BC para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera. En este sentido, este proyecto contribuye a la comprensión de variables que favorecen la adopción de la BC desde una perspectiva estratégica y operacional. Examina en detalle las ventajas potenciales y las desventajas que pueden surgir durante su implementación, atendiendo a que esta tecnología es parte integrante de la transformación digital.

Entendido esto, el objetivo de este trabajo es determinar los beneficios operativos de la adopción de Blockchain en la gestión y trazabilidad de las adquisiciones de suministros, evaluando los aspectos positivos y negativos de su aplicabilidad, para la definición de una estrategia de implementación adecuada.

2. Metodología

Paradigma y diseño: Se elige la utilización de un enfoque mixto, realizado a través de un diseño paralelo convergente según Arévalo Chávez et al. (2020), que nos permite explorar las bondades de la BC en el proceso de adquisiciones de bienes y equipos en la fase final del aprovisionamiento de proyectos mineros, derivado de la guía PMBOK, y de su relación con el ahorro de tiempo, costos e integración con diferentes sistemas de información que se utilizan para ello. Además, se pudo relacionar el nivel de conocimiento de la BC con su grado de utilización en la industria minera. Para la componente cualitativa de la metodología se realiza una entrevista y para la parte cuantitativa se realiza una encuesta (Arévalo Chávez et al., 2020).

Población sobre la que se efectuó el estudio: El estudio recopila datos entre los diferentes actores de la gestión de proyecto, particularmente en la adquisición de suministros. Se realizaron diez entrevistas y participan diez profesionales como gerentes, ingenieros de compras, analistas y proveedores, caracterizados según la Tabla II:

Tabla II: Caracterización de entrevistados

Cantidad	Posición	Prom. rango etario	Experiencia promedio
3	Gerentes	50	30
2	Ingenieros de proyectos	47	27
3	Ingenieros de contratos	45	20
2	Jefes asistencia técnica	45	20

Los entrevistados fueron elegidos debido a su experiencia y a los roles llevados a cabo en la gestión de proyectos, seleccionados por medio de una muestra a conveniencia (Arévalo Chávez et al., 2020).

También se realizaron 31 encuestas, que se llevaron a cabo de manera online por medio de la aplicación Forms de Microsoft 365, a profesionales de diferentes áreas de desempeño, con rangos de edad de entre 20 a más de 60 años y experiencia en su área de entre 1 a más de 10 años, los que se seleccionaron primeramente a conveniencia para luego aleatoriamente. Al primer grupo, 11 personas, se les envió vía mail y el segundo grupo, 20 personas, participó por medio de la red profesional LinkedIn. La caracterización de los encuestados es la siguiente:

Tabla III: Áreas de desempeño de los encuestados

Áreas de desempeño	
Contratos de servicios y/o bienes para operaciones	28%
Contratos de servicios y/o bienes para proyectos	27%
Proyectos	20%
Procurement	13%
Otras	12%

Tabla IV: Rango etario de los encuestados

Rango etario	
40-50	52%
30-40	23%
50-60 o más	19%
20-30	6%

Tabla V: Años de experiencia de los encuestados

Años de experiencia	
10 o más	68%
7 a 10	16%
4 a 6	10%
1 a 3	6%

Entorno: El área de estudio se centra en la zona del norte grande de Chile, donde existe un alto desarrollo de la minería metálica y no metálica. En este ámbito existen empresas públicas y privadas como Codelco, Freeport-McMoran, Anglo América, SQM, Albemarle Corporation, Boric Acid S.A., Antofagasta Minerals, entre otras. En general, estas corporaciones se apoyan en servicios de Business Procesos Outsourcing (BPO o externalización de procesos de negocios en español) e inspección técnica ejecutados por empresas contratistas de servicios

profesionales y que llevan a cabo las actividades de adquisiciones, desde la compra de suministros hasta su almacenamiento y utilización.

A continuación, se presentan los instrumentos aplicados:

- a) Entrevistas
- b) Encuestas online

a) **Entrevistas:** Estas serán semiestructuradas en forma remota a través de videoconferencias, utilizando un esquema de preguntas abiertas que permita una discusión con el entrevistado. Este proceso se llevó a cabo en 8 sesiones coordinadas previamente con cada persona entrevistada. Las preguntas buscarán comprender los factores cruciales que afectan la adopción de Blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones.

El instrumento propuesto consta de 10 preguntas de respuesta abierta, como se muestra en la lista siguiente:

Etapa 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad.

1. ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?
2. ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?
3. ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?
4. Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?

Etapa 2: Ventajas y desventajas

5. ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?
6. ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?

Etapa 3: Factores para la implementación

7. ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?
8. ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?
9. ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las

adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?

10. ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación de alguna estrategia de implementación?

b) **Encuestas:** Están orientadas a personas que trabajan en adquisiciones, proyectos, contratos para proyectos, activación de compras y otras actividades relevantes. Se trata de 8 consultas con selección única, múltiple (preguntas cerradas) y con escala de Likert, que permitieron determinar el nivel de conocimiento de la BC en profesionales con experiencia en adquisiciones.

Las preguntas para la encuesta fueron:

1. **¿Qué tanto conoces sobre la tecnología Blockchain aplicada a las adquisiciones en proyectos?**

Nada / Poco / Moderado / Bastante / Mucho

2. **¿En qué áreas crees que la tecnología Blockchain puede ser aplicada en el ámbito de las adquisiciones en proyectos?**

Seguimiento de la cadena de suministro/Gestión de contratos/Pagos internacionales/Registro de proveedores/Auditorías y cumplimiento/Otras

3. **En tu opinión, ¿cuáles son las principales barreras para la adopción de la tecnología Blockchain en el ámbito de las adquisiciones en proyectos en el sector minero?**

(Selecciona hasta 3 opciones)

Falta de conocimiento / Falta de infraestructura / Resistencia al cambio / Barreras tecnológicas / Otras: _____

4. **¿Qué desafíos crees que se presentan al implementar la tecnología Blockchain en el ámbito de las adquisiciones en proyectos en el sector minero?**

(Selecciona hasta 2 opciones)

Mejorar el conocimiento con capacitación / Mejorar la infraestructura tecnológica / Mejorar los aspectos regulatorios en adquisiciones / Gestionar de mejor manera la resistencia al cambio / Otras: _____

5. **¿Conoces alguna empresa de la industria minera que haya implementado la tecnología Blockchain en alguno de sus procesos?**

Sí / No

6. **Para cada afirmación, califica tu nivel de acuerdo del 1 (Totalmente en desacuerdo) al 5 (Totalmente de acuerdo):**

- Blockchain puede mejorar significativamente la transparencia en el proceso de adquisiciones.
- La adopción de Blockchain reducirá el tiempo de gestión en los procesos de adquisiciones.
- Los costos de implementación de Blockchain son una barrera importante para su adopción en la industria minera.
- La resistencia al cambio organizacional es un desafío crítico para implementar Blockchain en adquisiciones.
- La falta de capacitación y conocimiento técnico limita la adopción de Blockchain en adquisiciones.

7. **¿Qué tan probable crees que es que Blockchain se convierta en una solución estándar en la industria minera?**

Nada probable / Poco probable / Moderadamente probable / Bastante probable / Totalmente probable

8. **En tu opinión, ¿cuáles son los factores más importantes a considerar al evaluar una solución de Blockchain para adquisiciones?**

(Selecciona hasta 3 opciones)

Seguridad / Escalabilidad / Costo / Facilidad de uso / Comunidad de soporte técnico /Otras:

Plan de análisis de los datos: Para responder la pregunta, ¿cuáles son las ventajas y limitaciones de adoptar la tecnología Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera?, primeramente debemos evaluar qué conocimiento existe de la tecnología Blockchain en los diferentes niveles de las organizaciones, esto tomando en cuenta que esta tecnología está muy frecuentemente asociada a las criptomonedas, en especial al Bitcoin y Ethereum, esto porque es desde este punto en que conocemos la BC. Luego, se establecen las ventajas y limitaciones de la tecnología para finalmente sugerir una estrategia de implementación, sin entrar en detalles sobre gobernanza de datos como de conformación de equipos de trabajo de

gestión de datos dentro de la organización, montos de inversión y costos.

El análisis de las respuestas de las personas entrevistadas en conjunto con las encuestas llevadas a cabo son la fuente de datos que nos permite realizar una evaluación previa, para obtener antecedentes de aplicaciones de la BC en la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera. Para ello se grabaron las entrevistas y se procesaron con la aplicación de inteligencia artificial NotebookLM de Google, que es una herramienta llamada Modelo de Lenguaje de Gran Escala (LLM, por sus siglas en inglés) especializado, y se caracteriza por su optimización para interactuar con datos suministrados por el usuario, tales como documentos, documentos PDF y audios, en lugar de depender exclusivamente de su conocimiento previo. En el primer paso para el procesamiento se determinó un tamaño de muestra que fue calculado utilizando el Método de Muestreo Aleatorio Simple, calculado sobre la base de los siguientes parámetros:

$Z=1.96$ (valor crítico para un nivel de confianza del 95%),

$p=0.5$ (proporción esperada),

$q=1-p=0.5$

$e=0.05$ (margen de error),

$N=100$ (tamaño de la población, 10 consultas x 10 respuestas).

$n=80$ (tamaño de la muestra a revisar).

Para esta muestra se apeló a lo experimentado por el entrevistador, para luego, realizar una revisión de las respuestas para cotejarlas con las grabaciones.

El resultado de las encuestas fue extraído de la aplicación Microsoft Forms 365, que genera automáticamente el análisis de las respuestas.

Es necesario destacar que, en este punto, después del análisis, se comparan y combinan los resultados de ambos enfoques para identificar convergencias, complementariedad o divergencia (Arévalo Chávez et al., 2020).

Ética: El propósito del estudio fue explicado de manera anticipada y detallada, y la información recopilada se mantuvo en secreto. La participación es voluntaria y compromete la confidencialidad de los resultados y la validación responsable. Para garantizar la imparcialidad, las respuestas fueron proporcionadas de manera voluntaria, informada y sin influencias.

3. Resultados

A continuación, presentamos los resultados de cada uno de los diez ítems organizados y aplicados en 5 fases. Por razones de espacio y claridad para la lectura, se ha decidido incluir únicamente la información relevante para este artículo:

Tabla VI: Categorías del estudio

Pregunta	Categoría	%
Ítem 1: ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?	Etapas del proceso y procedimientos.	(5 de 10) 50%
	Definición de especificación técnica de la adquisición.	(3 de 10) 30%
	Servicios asociados a la adquisición.	(1 de 10) 10%
	Trazabilidad estratégica.	(1 de 10) 10%
Ítem 2: ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?	Tiempos de respuestas y calidad.	(4 de 10) 40%
	Pérdida de valor y flujos de trabajo inadecuados.	(4 de 10) 40%
	Rol estratégico de adquisiciones.	(2 de 10) 20%
Ítem 3: ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?	Sin conocimiento.	(6 de 10) 60%
	Con conocimiento.	(4 de 10) 40%
Ítem 4: Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?	Trazabilidad de la adquisición.	(5 de 10) 50%
	Confiable y transparencia.	(3 de 10) 30%
	Inmutabilidad y seguridad de los datos.	(1 de 10) 10%
	capacidad predictiva.	(1 de 10) 10%
Ítem 5: ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?	Resistencia al cambio.	(6 de 10) 60%
	Riesgo y manejo de información.	(2 de 10) 20%
	Falta de capacitación y adaptación a los sistemas existentes.	(2 de 10) 20%
Ítem 6: ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?	Estandarización de procesos.	(6 de 10) 60%
	Mejora continua.	(2 de 10) 20%
	No maneja procedimientos específicos.	(2 de 10) 20%
Ítem 7: ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?	Aversión a la innovación.	(5 de 10) 50%
	familiaridad con los proveedores.	(3 de 10) 30%
	Actualización de registros.	(2 de 10) 10%
Ítem 8: ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?	Por etapas.	(7 de 10) 70%
	A pequeña escala.	(2 de 10) 20%
	Adopción dirigida por el cliente.	(1 de 10) 10%
Ítem 9: ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?	Sin experiencia.	(9 de 10) 90%
	Con experiencia.	(1 de 10) 10%
Ítem 10: ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación de alguna estrategia de implementación?	Adaptabilidad a la industria.	(3 de 10) 30%
	Cantidad de transacciones.	(3 de 10) 30%
	Confidencialidad de la información.	(2 de 10) 20%
	La urgencia de los proyectos.	(1 de 10) 10%
	Sin claridad.	(1 de 10) 10%

3.1 Análisis de datos cualitativos (Entrevistas)

Etapa 1: Caracterización del presente y comprensión de la realidad.

Ítem 1: ¿Cómo opera actualmente el proceso de control y trazabilidad de las adquisiciones en la minería, en su organización o en otra industria?

En la primera pregunta del cuestionario (Tabla VI), si revisamos los resultados generales, nos encontramos que un 50% de los entrevistados destaca como de gran importancia las **etapas del proceso y procedimientos** como parte esencial de la actividad de adquisiciones, los que deben ser cumplidos y documentados y que se manifiesta en respuestas como: “El proceso tiene distintas etapas dependiendo de si se trabaja para el mandante, una empresa de ingeniería o proveedor, las que se deben cumplir” (Entrevistado 4) y “Se deben cumplir con los procedimientos internos, esto para que cada proceso quede documentado y sea auditable” (Entrevistado 6). Por otro lado, un 30% da un grado de importancia a la **definición de especificación técnica de la adquisición**, en el entendido de que establecen claramente las características del bien a comprar, lo que se refuerza con frases como: “Se definen especificaciones técnicas para recursos, repuestos, ampliaciones y diseños. En países en vías de desarrollo, definir especificaciones sistemáticamente es un área de crecimiento” (Entrevistado 1) y “Los proyectos parten con compras tempranas, influenciadas por el tiempo de ejecución. Se definen características técnicas con ingeniería básica para equipos principales que demoran en construirse, marcando la ruta crítica” (Entrevistado 3). También, se expresa un 10% que se centró en los requerimientos de **servicios asociados a la adquisición**, como asistencias técnicas, tanto remotas como en terreno, que son llevadas a cabo por profesionales altamente calificados por el proveedor del bien y que apoyan al proceso de montaje y puesta en marcha, que se expresa en la respuesta: “Uso poco el proceso de adquisición de materiales debido a que mi foco está en dar servicios asociados a productos que mi empresa vende a las mineras, por ejemplo, la instalación, comisionamiento y asistencia técnica” (Entrevistado 7). Finalmente, debemos destacar el concepto de **trazabilidad estratégica**, pensando en que el accionar del área de adquisiciones, abastecimiento y contratos debe comenzar con la conceptualización del proyecto y así definir, desde ya, las estrategias de compras y contratos para bienes clasificados como cuello de botella o estratégicos, representada por un 10%, lo que se refrenda con la idea: “La trazabilidad debe incluir la conceptualización de la decisión, es decir, por qué se hizo y por qué se necesita un suministro. La trazabilidad es baja en las decisiones previas a la compra, como las que se toman en la etapa de ingeniería de un proyecto. La trazabilidad de los fabricantes de equipos originales (OEM) es muy mala, ya

que las grandes marcas son ensambladoras y no fabricantes” (Entrevistado 10).

Ítem 2: ¿Cuáles son los principales retos que se presentan en el actual proceso de adquisición de suministros en proyectos mineros, particularmente en lo que respecta a la trazabilidad y el control?

Al revisar los resultados generales de la segunda pregunta del cuestionario (Tabla VI), nos encontramos que un 40% asocia el concepto **tiempos de respuestas y calidad** a un reto y desafío actual del proceso de adquisición de suministros, retratadas en frases como: “Uno de los mayores inconvenientes es la calidad del suministro, los tiempos de respuesta y los tiempos de llegada al sitio del proyecto. Si hay un retraso, también se retrasa el proyecto” (Entrevistado 1) y “Una vez que no hay stock, por ejemplo, de algunos componentes muy especializados en su aplicación práctica, los cuales a veces no están en el mercado, se producen retrasos en los envíos; no es como ir a una ferretería y comprar algún puñado de tornillos, sino que hay componentes que son algo costosos” (Entrevistado 5). Luego, y con un mismo 40%, el concepto **pérdida de valor y flujos de trabajo inadecuados**, es reafirmado con la idea: “Hay compras que ocurren dos años antes de que se ponga en marcha un equipo; al pasar muchas personas por el proceso, se pierde valor al reprocesar la información” (Entrevistado 3) y “A menudo, los flujos de trabajo no están bien dimensionados ni definidos, como, por ejemplo, cómo llevar a cabo una licitación o administrar un contrato. Hay debilidades en los roles y responsabilidades dentro de los proyectos, lo que dificulta la trazabilidad y el control” (Entrevistado 9). Finalmente, con un 20% se detona como otro reto al **rol estratégico de adquisiciones**, que se expresa en respuestas como: “El rol de abastecimiento debería ser más estratégico y menos transaccional, integrándose al negocio desde las etapas iniciales de los proyectos. La lógica de abastecimiento es obsoleta en la minería, con diseños similares a los de hace 50 años, a diferencia de otras industrias más avanzadas. La integración de abastecimiento al negocio es pobre, lo que impide anticipar las necesidades y generar estrategias eficientes de abastecimiento a largo plazo. (Entrevistado 10).

Ítem 3: ¿Qué aspectos conoce de la tecnología Blockchain?

Esta pregunta es una de las más importantes del cuestionario, aquí nos encontramos con un 40% de personas **con conocimiento** de la tecnología Blockchain confirmado con el enunciado: “Es una forma de darle trazabilidad y almacenamiento de datos, que sea visible, trazable y de forma inequívoca. No exista otra versión de un documento que no sea la que está almacenada a través de esta tecnología. Entrega mucha confiabilidad respecto en cuanto a la garantía de la trazabilidad de la información”

(Entrevistado 3) y “Blockchain permite dar control y trazabilidad a distintos procesos. Permite digitalizar y asegurar distintos registros en flujos de trabajo o transacciones. Se asocia a los contratos inteligentes” (Entrevistado 9). El otro 60% se reconoce como **sin conocimiento**, comentando: “no conocer Blockchain”

(Entrevistado 2, 4, 5, 6 y 8) y “Leí algo del blockchain, pero la verdad que no lo conozco” (Entrevistado 7). En este punto de la entrevista, se exhibió una infografía (Figura 1) a los entrevistados sin conocimiento de Blockchain, donde se da a conocer la definición y características de la BC, esto con la finalidad de no truncar la entrevista.

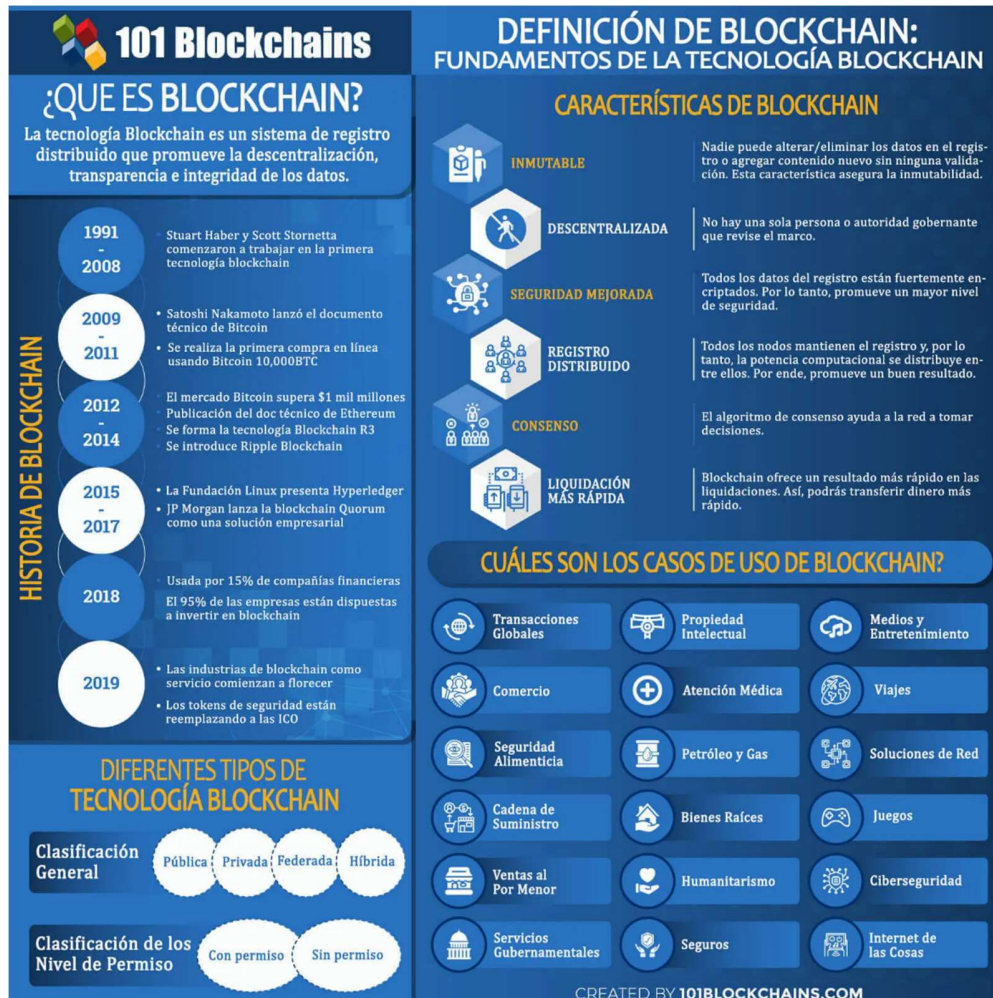


Figura 8: Infografía Blockchain

Ítem 4: Desde su punto de vista, ¿cuáles podrían ser los beneficios más significativos que Blockchain podría aportar al control de adquisiciones en proyectos mineros?

Si examinamos los resultados generales de la cuarta pregunta del cuestionario, encontraremos que un 50% determina como un beneficio significativo la **trazabilidad de la adquisición**, donde encontramos declaraciones como: “Destaco la importancia de la trazabilidad y el control en las adquisiciones desde el levantamiento del requerimiento hasta la utilización del bien” (Entrevistado 2), “quizás no en todos los tipos de adquisiciones, dadas las distintas tipologías de adquisiciones, pero sí en la gran mayoría falta esa trazabilidad como intermedia más sistémica desde el momento que lo asignas hasta que lo recibes” (Entrevistado 6) y “La trazabilidad es importante, el acceso a la información de distintas plataformas, la transparencia y la necesidad de documentar un proceso” (Entrevistado 7). De otro modo, el 30% explica como otro beneficio la **confiabilidad y transparencia** reflejada en opiniones similares a: “Entrega mucha confiabilidad respecto a la garantía del bien adquirido. Tener un equipo instalado, una bomba o un variador de frecuencia, con un código QR que te lleve a un sitio único donde esté el manual de operación, el manual del mantenimiento, la hoja de datos, la trazabilidad de los materiales con que fue construido ese equipo, por ejemplo” (Entrevistado 4). En cambio, un 10% manifiesta como beneficio el concepto de **inmutabilidad y seguridad de los datos** descrito en respuestas similares a: “Efectivamente, permite hacer negocios más seguros porque el blockchain es inalterable, no se puede cambiar la data debido al uso de firmas con criptografías inalterables. Da garantías de que no puede ser cambiado” (Entrevistado 1). Finalizando el análisis de este ítem, un 10% establece, como otro beneficio, la **capacidad predictiva** de BC en el siguiente contexto: “Permite predecir problemas futuros en la compañía basándose en los datos de los procesos, flujos y demoras. La tecnología blockchain combinada con el manejo masivo de datos tiene beneficios significativos más allá del seguimiento transaccional, como entender la causa raíz de los eventos en lugar de solo registrar lo que sucedió, mientras que los sistemas tradicionales muestran datos históricos, esta tecnología permite analizar el comportamiento orgánico de los procesos para comprender por qué ocurren ciertos resultados. Otro beneficio crucial es la capacidad de predicción, lo que permite tomar medidas proactivas para evitar crisis o problemas de abastecimiento” (Entrevistado 10).

Etapa 2: Ventajas y desventajas

Ítem 5: ¿Cuáles factores podrían favorecer o dificultar la implementación de la tecnología Blockchain?

En esta consulta, al evaluar la retroalimentación a la pregunta número cinco, detectamos un 60% que conceptualizó como dificultad la **resistencia al cambio**, reforzada con expresiones similares a: “La mayor limitación básicamente es, en general, como en muchos lados, las estructuras conservadoras que a veces tienen los grupos gerenciales, porque cualquier cambio requiere apoyo del máximo nivel de la gerencia, primero que nada” (Entrevistado 1), o en “El factor humano siempre es una limitación” (Entrevistado 7), como así “La industria minera es reticente al cambio. Hay una cultura donde se prefiere mantener los sistemas existentes, que incluso las áreas de TI avalan” (Entrevistado 9). Asimismo, un 20% describe como otra dificultad el **riesgo en el manejo de información**, sosteniendo que: “Esta tecnología no es para todas las empresas. Por lo tanto, el día mañana, cuando el proveedor del servicio Blockchain puede retirarse sin más, ahí se corre un riesgo de cómo la información puede ser mal usada” (Entrevistado 2). Finalmente, también con un 20% explica la dificultad con la idea de **falta de capacitación y adaptación a los sistemas existentes**, con base en comentarios como: “Es posible que se requieran actualizaciones y adaptaciones con los sistemas existentes para asegurar la compatibilidad” (Entrevistado 5).

Ítem 6: ¿Cuáles serían las modificaciones particulares requeridas en los procedimientos actuales de adquisiciones para facilitar la implementación de la tecnología Blockchain?

Al examinar los resultados generales de la pregunta seis del cuestionario, podemos detectar que un 60% asocia la noción de **estandarización de procesos** respecto de la adecuación de los procedimientos de adquisición de suministros respecto cómo se hacen las cosas, reflejada en frases como: “Desde la fabricación hasta la operación y mantención del equipo, también se deben tener modelos de procedimientos compactos” (Entrevistado 3) y “Se deben estandarizar los procesos y ser más estrictos con ellos para tomar decisiones más informadas sin depender de una persona” (Entrevistado 6). Luego, y con un 20%, el concepto de **mejora continua** es refrendado con la percepción: “Crear un contrato inteligente en Blockchain debe ser realimentando y viendo qué cosas mejorar, midiendo resultados y adecuando los requerimientos para hacer diferentes contratos” (Entrevistado 1). Finalmente, un 20% expresó que **no maneja procedimientos específicos**, debido a su rol de cliente dentro del proceso, declarando: “Debido a que soy usuario, no manejo los procedimientos de adquisiciones” (Entrevistado 7).

Etapa 3: Factores para la implementación

Ítem 7: ¿Cuáles podrían ser las amenazas que un plan de implementación de Blockchain podría generar en proyectos mineros?

En la pregunta siete del cuestionario, si revisamos los resultados generales, nos encontramos que un 50% de los entrevistados destaca a la **aversión a la innovación** como amenaza para los proyectos, lo que se manifiesta en respuestas como: “Desafíos adaptativos, que el cliente interno entienda los beneficios de la tecnología y que lo quiera asumir” (Entrevistado 3) y “Reconozco que algunas personas pueden resistirse al cambio y sentir que pierden el control del proceso de adquisiciones” (Entrevistado 4). Por otro lado, un 30% cita a la **familiaridad con proveedores**, entendida desde la perspectiva de costumbre y conocimiento del comportamiento, rendimiento y cumplimiento de estos, genera una confianza con ellos, lo que se puede interpretar como amenaza, con frases como: “Una amenaza sería que este es un sistema que no se basa en la confianza con los proveedores, porque esa confianza es subjetiva. En las estructuras que son privadas, la licitación hasta ni siquiera es necesaria (Entrevistado 1). Por último, un 20% se enfocó en **actualización de registros** que se expresa en respuestas como: “En una empresa que provee sistemas muy especializados, todo el tiempo evolucionan en su diseño para hacerlo más eficiente, más económico, más funcional o simplemente mejor desde el punto de vista físico, químico, eléctrico, pero creo que podría ser un poco más complicado implementarlo, puesto que los registros, las bases de datos de ese sistema blockchain estarían continuamente cambiando y sería sumamente complejo controlar cada registro y cada información interna en ese sistema para que funcione de manera fluida” (Entrevistado 5).

Ítem 8: ¿De qué manera sería posible implementar el control de adquisiciones mediante la tecnología Blockchain?

Si observamos los resultados generales de la consulta número ocho, encontraremos que un 70% determina como manera de implementar BC la idea de un proceso **por etapas**, reforzado con declaraciones como: “puede ser de forma paulatina. Un subproceso, la misma administración de los estados de pago para el proveedor, verlo a través de esta tecnología” (Entrevistado 2), también en comentarios como “Se debe realizar una implementación por etapas, asegurando que cada etapa se entienda y documente bien antes de pasar a la siguiente” (Entrevistado 7) y “Hacer maquetas inofensivas para mostrar a las personas los beneficios de la tecnología. Luego, realizar un piloto controlado para abrir puertas a la aceptación del cambio. La estrategia debe enfocarse en modificar el pensamiento de las personas, ya que la tecnología funciona bien” (Entrevistado 10). Un 20% describe otro modo de implementación **a pequeña escala** reflejado en opiniones equivalentes a: “Empezaría con una pequeña prueba para poder ver, por ejemplo, cómo se cumple el proceso completo” (Entrevistado 1). Para finalizar, un 10% manifiesta el concepto de una **adopción dirigida por el cliente**, descrito en respuestas similares a: “En la medida

que el cliente lo solicite, lo empiece a exigir desde la óptica del cliente, podrá destacar los beneficios de la adopción” (Entrevistado 3).

Ítem 9: ¿Posee usted alguna experiencia de éxito o fracaso en la implementación de Blockchain en las adquisiciones en la industria minera o en otros sectores, o en otra aplicación?

Si chequemos los resultados de la pregunta nueve de la entrevista, se evidencia que el 90% de los entrevistados se catalogan como **sin experiencia** en proyectos de implementación de blockchain. siendo las respuestas más destacadas: “No tengo experiencia directa, pero he seguido el crecimiento del blockchain y estoy de acuerdo con su aplicación en el contexto de la trazabilidad” (Entrevistado 1) y “No posee experiencia en la implementación de Blockchain, aunque ha leído sobre el tema, esto porque estoy más involucrada en el lado comercial y de relaciones que en el lado tecnológico” (Entrevistado 7). Por lo tanto, solo el 10% (1 de 10) se declara **con experiencia** en implementación de Blockchain, respaldado con la siguiente respuesta: “Tengo experiencia en la implementación de blockchain en dos empresas mineras, con resultados sorprendentes. Se han implementado en proceso de auditoría que alerta sobre desviaciones, y una solución para el manejo de regulaciones” (Entrevistado 10). Este resultado es reflejo, además, de las respuestas a la consulta número 3 del sondeo.

Ítem 10: ¿Cuál crees que sería la principal preocupación respecto de la aplicación o implementación de alguna estrategia de implementación?

Si verificamos las respuestas a la décima consulta del cuestionario, primero vemos que el 30% distingue como una preocupación principal el concepto de **adaptabilidad a la industria**, indicando ideas como: “Que la tecnología blockchain no esté integrada con el resto de la tecnología que les da soporte a los procesos de negocio. Es importante tener una mirada holística y transversal de la arquitectura empresarial” (Entrevistado 9) y “Existe una brecha entre el conocimiento tecnológico disponible y el conocimiento que poseen las personas que trabajan en las compañías, lo cual puede dificultar la comprensión y adopción de nuevas tecnologías. Esta brecha se agranda constantemente si los profesionales no se actualizan al ritmo de los avances tecnológicos” (Entrevistado 10). Por otra parte, un mismo 30% indica la idea de **cantidad de transacciones**, entendido como preocupación por la capacidad de BC, que es representada con proposiciones como: “La necesidad de mantener actualizadas las bases de datos de blockchain con los cambios continuos en los productos podría ser un desafío tedioso y complejo, esto puede generar retrasos que impactan la operación y el montaje, especialmente cuando no hay margen de tiempo” (Entrevistado 5). Con un 20%, conceptualiza como preocupación al implementar

blockchain con **confidencialidad de la información** reforzada con expresiones como: “En la adaptabilidad conductual existe preocupación por la confidencialidad de la información en los proyectos, que es estratégica” (Entrevistado 3). Luego con que el 10% sostiene que una preocupación para la aplicación de una estrategia de implementación de BC es la **urgencia de los proyectos**, señalando: “La urgencia es lo peor para una estructura de contrato, ya que esta implica saltar pasos y produce sesgos.” (Entrevistado 1). Finalmente, un 10% señala estar **sin claridad** respecto a este ítem, respondiendo “No lo tengo claro” (revistado 4).

3.2 Análisis de datos cuantitativos (Encuestas)

En la encuesta participaron 31 personas con las características indicadas en las Tablas III a la V. La encuesta presentó 3 secciones: la primera para caracterizar a las personas encuestadas, la segunda para informar el contexto de la encuesta, principalmente para explicar la definición de blockchain y sus particularidades, y la tercera, la encuesta propiamente tal, donde 3 preguntas fueron de selección única, 3 de selección múltiple y 1 con escala de Likert con 5 consultas, siendo la duración promedio de la encuesta menor a 6 minutos. Esta se realizó de forma online entre el 15 de febrero y el 14 de marzo de 2025 y fue enviada vía email a personas seleccionadas a conveniencia dada su experiencia en proyectos y adquisiciones, para luego publicarla en la red profesional LinkedIn. Los resultados más importantes fueron:

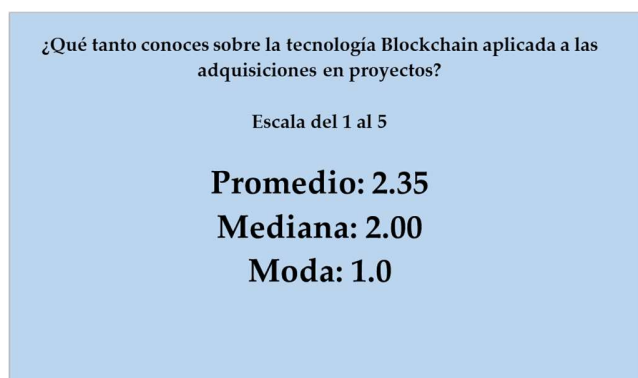


Figura 9: Nivel de conocimiento de blockchain

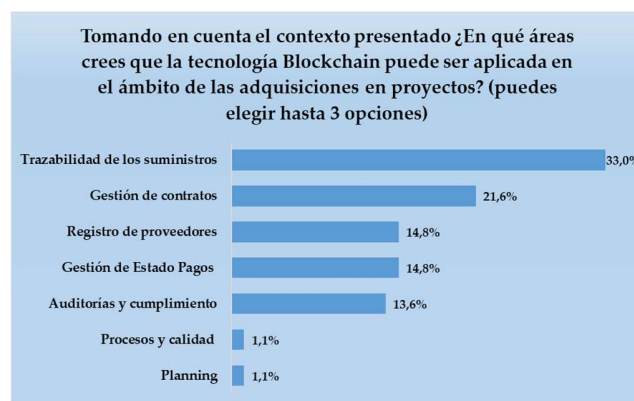


Figura 10: Aplicabilidad de blockchain

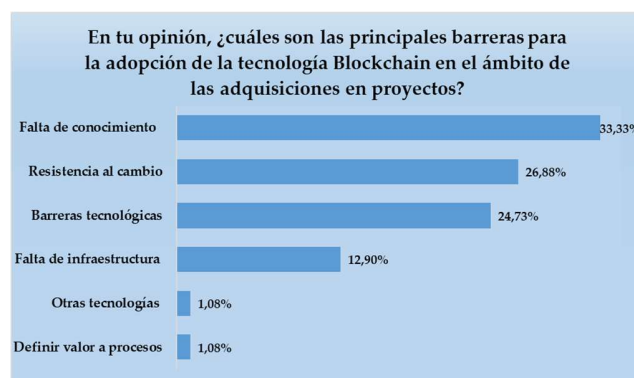


Figura 11: Barreras de adopción

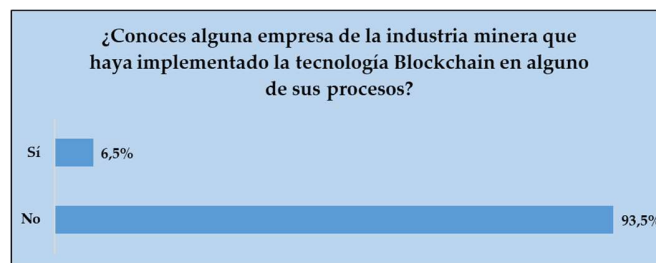


Figura 12: Nivel de conocimiento de implementación blockchain

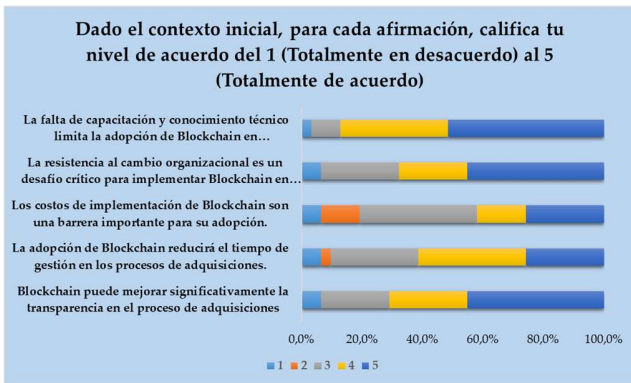


Figura 13: Escala de Likert

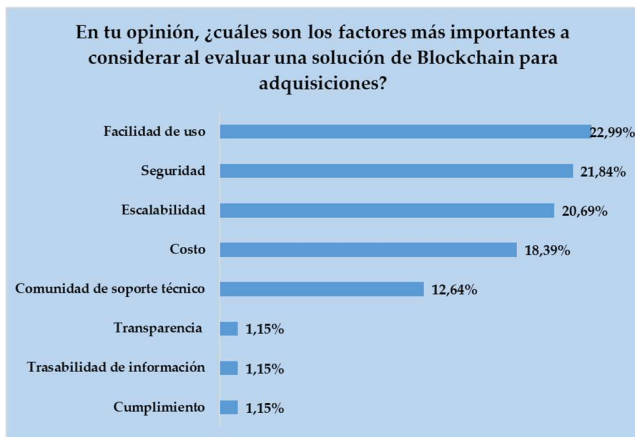


Figura 14: Factores para evaluación de solución Blockchain

3.3 Discusión de resultados

Considerando la primera etapa de las entrevistas de etapa **caracterización del presente y comprensión de la realidad**, es evidente que las personas que participaron tienen un pleno conocimiento del proceso de adquisiciones, en especial en su control y trazabilidad. También podemos observar cuales son los principales retos del mismo proceso acrecentando sus respuestas a los conceptos tiempos de respuestas y calidad, y pérdida de valor y flujos de trabajo inadecuados, que podríamos asociar al triángulo de aspectos principales de un proyecto, también conocido como triple restricción: alcance, costo y tiempo, a pesar de que hoy en día se ha ampliado los aspectos de afectación de los proyectos al incluirse las perspectivas de índole social y ambiental que proporcionarán una respuesta a las expectativas de los stakeholders, garantizando la generación de valor a través del esfuerzo colectivo efectuado durante la ejecución de los proyectos (Moreno Monsalve et al., 2023). No obstante, se manifiesta claramente un desconocimiento importante de la BC en todas las áreas de desempeño de las personas entrevistadas, independiente de su actividad, rango etario y experiencia. Esto es un riesgo asociado a cómo se asumen

las nuevas tecnologías. No podremos establecer que sin ese conocimiento no se pueda adoptar tal tecnología. En el ámbito informático se señala que los usuarios no necesariamente deben saber cómo está estructurada una aplicación, sino solo deben usarla, atendiendo a que ese uso no depende explícitamente a ese conocimiento y que los usuarios potenciales carecen de conocimiento acerca de las capacidades de la BC, debido a que las interfaces de ella aún no están ampliamente accesibles para todos los interesados, lo que dificulta la comprensión completa de su potencial, tal como lo indica Heim (2022). Esto se refuerza con los resultados de la encuesta donde el mayor porcentaje, un 33%, indica que una barrera principal para la adopción de la BC es la falta de conocimiento, que se verifica con el 60% de los entrevistados sin conocimiento, evidenciando convergencia.

Respectos a los beneficios operativos de la implementa de la BC el rasgo más repetido es el trazabilidad de la adquisición, que se puede interpretar como una creciente preocupación o reto del proceso de adquisiciones, tomando en cuenta que, dada la estructura del mercado, un maquinaria o equipamiento para un proyecto puede ser manufacturado por diferentes fabricantes en países distintos para luego ser ensamblado por el proveedor principal (fabricante de equipos originales, OEM por sus siglas en inglés), emergiendo muchas veces la falta de información del progreso y apego a las especificaciones técnicas de cada componente, generando incertidumbre respecto al cumplimiento de plan maestro del proyecto, con el consabido impacto que pudiese provocar algún retraso. Tal como lo manifiestan Fortuna y Gaspar (2022), el objetivo de la trazabilidad es llevar a cabo el control fabril de un artículo específico, documentar las diversas etapas de su ciclo de producción, asegurar una calidad superior, incrementar la visibilidad en la cadena de suministro y, consecuentemente, mejorar la seguridad. Esto se debe a que la trazabilidad contribuye a la disminución de la tasa de desaparición, extraversión y pérdida de productos (Fortuna y Gaspar, 2022). Esta perspectiva se reafirma con el resultado en conjunto del 55% de encuestados que indicaron como área de aplicabilidad de la BC la trazabilidad y gestión contractual.

La segunda etapa que establece las **ventajas y desventajas** de la adopción de blockchain, punto focal de esta investigación, demuestra que la resistencia al cambio, de operadores y clientes, y la estandarización de procesos es muy importante dentro del proceso. Debemos entender que la BC tiene características intrínsecas, como, por ejemplo, inmutabilidad de datos, descentralización en la gobernanza, encriptación de la información, distribución del registro, algoritmo de consenso para tomar decisiones, entre otras; y cuáles de ellas contribuirían al proceso de adquisiciones. Según los resultados expuestos, una clara desventaja es la resistencia al cambio, la cual está distribuida en diferentes fuentes inherentes al sector donde se produce y que es

parte del desarrollo humano desde siempre, expresándose de manera activa o pasiva, individual o grupal, y manifestándose como miedo a lo no conocido, pérdida de control, falta de conocimiento o de habilidades, esfuerzo o tiempo de aprendizaje, cultura organizacional, amenazas a la estabilidad laboral, etc., para lo cual existen medidas de mitigación que no se analizan en este artículo. Sin duda, la resistencia al cambio puede llevar la adopción e implementación de una tecnología al fracaso (Ito et al., 2021). Los datos de la encuesta sobre barrera de la adopción de blockchain definen a la resistencia al cambio como segundo aspecto con un 26%, sin ser mayoría, pero levantándolo como tema importante, también convergiendo.

Para la etapa de investigación de **factores para la implementación**, explora amenazas, preocupación y la forma para implementar la BC en la gestión y trazabilidad de adquisiciones para proyectos en la industria minera. Las amenazas con mayor mención son aversión a la innovación y adaptabilidad a la industria que, a diferencia a la resistencia al cambio mencionada anteriormente, se refieren a la confianza de personas que no operan dentro del proceso, sino que son stakeholders, tomando en cuenta la ‘idiosincrasia’, definida como la cultura dentro del mundo minero, también como un factor a evaluar cómo se debe adoptar una tecnología. Así lo evidencia Ito et al. (2021), al identificar como una fuente de resistencia al cambio tecnológico el ‘sentimiento de inadecuación’ confirmado por la frase ‘No nos gusta experimentar cambios debido a que siempre hemos hecho las cosas de una manera específica’.

3.4 Estrategia de implementación

Para presentar la propuesta de estrategia para la implementación de la tecnología BC para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos mineros, se deben analizar las ventajas y desventajas de BC mediante un análisis FODA:

Fortalezas (Factores internos positivos):

- Dominio detallado del proceso de adquisiciones.
- Preocupación por la trazabilidad de las adquisiciones.
- Enfoque en la calidad y tiempos de respuesta.
- Alineación con el triángulo de restricciones (alcance, costo, tiempo).

Debilidades (Factores internos negativos):

- Desconocimiento de la tecnología blockchain.
- Resistencia al cambio.
- Cultura organizacional conservadora.
- Dependencia de procesos tradicionales.

Oportunidades (Factores externos positivos):

- Potencial de mejora en la trazabilidad.
- Generación de valor para stakeholders.
- Alineación con tendencias globales.
- Mejora en la gestión contractual.

Amenazas (Factores externos negativos):

- Aversión a la innovación.
- Estandarización de procedimientos.
- Amenazas a la estabilidad laboral.
- Adaptabilidad a la industria.

Fortalezas vs. Oportunidades:

- El hecho de que exista un dominio detallado del proceso de adquisiciones entre los profesionales de proyectos y de compras, sumado a la preocupación por la trazabilidad, determinan fortalezas que deben ser aprovechadas como pilar para la adopción del BC y mejorar la eficiencia en la gestión y trazabilidad de adquisiciones. Además, la alineación con las tendencias globales de transformación digital y la generación de valor para stakeholders, determinan oportunidades que se pueden potenciar con la adopción de BC.

Debilidades vs. Amenazas:

- La falta de conocimiento de la tecnología BC y la resistencia al cambio asoman como debilidades evidentes, que entre ellas se transforman en una barrera muy fuerte, y que podrían ser mitigadas a través de programas de capacitación en conjunto con una comunicación efectiva, reforzando el pensamiento innovador en la organización de proyectos y de compras. Por otro lado, una cultura organizacional conservadora y el esfuerzo por mantener actualizados los procedimientos de compras en línea con la tecnología, se avizoran como las principales amenazas.

Líneas estratégicas recomendadas:

- Capacitación y sensibilización: Implementar programas de capacitación para reducir el desconocimiento de Blockchain y fomentar una cultura de innovación, en conjunto con una comunicación efectiva para dar a conocer los beneficios operativos de BC de manera clara y transparente para reducir la resistencia al cambio.
- Pilotos y casos de éxito: Implementar proyectos piloto para demostrar el valor de Blockchain y generar confianza entre los stakeholders, con iteraciones y mediciones constantes que permitan la mejora continua.

Se establece que la mejor forma de implementar BC para el control y trazabilidad de suministros en proyectos en la

industria minera, es por medio de un proyecto piloto, donde la primera parte de este es abordar las dos primeras líneas estratégicas para reducir el desconocimiento de la tecnología y sus características, fomentando una cultura de innovación, además, con la comunicación efectiva, disminuir la resistencia al cambio y comprometer a los stakeholders a colaborar activamente en este piloto.

Tabla VII: Ventajas y desventajas del Blockchain

Categoría	Factores
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial de mejora en la trazabilidad. - Generación de valor para stakeholders. - Alineación con tendencias globales. - Mejora en la gestión contractual.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento de la tecnología blockchain. - Resistencia al cambio. - Falta de interfaces accesibles. - Dependencia de procesos tradicionales.

Estrategia propuesta

Dentro de la organización de proyectos, el área de adquisiciones debe tener el rol de articulador de la implementación de BC, definiendo a su vez el resto de los roles y responsabilidades. Para el piloto propiamente tal, se debe decidir dónde aplicarlo en las etapas del proceso de compras, con la idea de encapsular su efecto respecto de procesos estratégicos y críticos. Para este caso se propone comenzar con suministro para proyectos genéricos no especiales, entendiendo que pueden ser utilizados en muchos proyectos sin afectar la seguridad, el alcance, el costo ni la calidad de estos, como por ejemplo pernos, andamios, cables, escaleras eléctricas, gabinetes, estructuras livianas menores, etc. De los montos de las adquisiciones se propone comenzar con aquellas de menor cuantía, que generalmente en la industria minera son las menores a veinte mil dólares (20 KUSD). Se deben seleccionar proveedores que estén dispuestos a participar en este piloto, definiendo el rol que deben asumir. Finalmente, se sugiere utilizar una metodología agile, la cual permitirá un acrecentamiento paulatino en la promesa de valor del piloto. Se debe contemplar un incremento en los montos de negocios y moverse hacia las compras de proyectos de menos a más críticos, de acuerdo con el valor entregado por la implementación.

4. Conclusiones

Este trabajo determina las ventajas y limitaciones de adoptar la tecnología Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera. Esto se evidencia por medio del análisis de la percepción de las personas entrevistadas y

encuestadas, siendo las ventajas y desventajas determinadas las que se exponen en la Tabla VI.

La estrategia propuesta define un primer camino para la adopción del Blockchain para la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos mineros, adecuándola a la criticidad de los proyectos y su efecto según su concepción.

Se observa un desconocimiento considerable de la tecnología Blockchain, lo que constituye un obstáculo significativo para su adopción, sumado a la resistencia al cambio y una cultura organizacional conservadora, constituyen vulnerabilidades que requieren un tratamiento a través de la estrategia propuesta.

Además, se reconocen oportunidades explícitas, tales como la optimización de la trazabilidad y la creación de valor para los stakeholders, por lo que, un proyecto piloto se postula como una estrategia inicial para evidenciar el valor de la tecnología Blockchain, mitigar la resistencia al cambio y fomentar la confianza entre las partes interesadas, empleando una metodología flexible para facilitar un incremento gradual y cuantificable en la promesa de valor.

En síntesis, la incorporación de la tecnología Blockchain en la gestión de adquisiciones posee un potencial considerable. Sin embargo, demanda un enfoque estratégico que atienda las vulnerabilidades y amenazas presentes, capitalice las fortalezas y oportunidades existentes, y promueva una cultura de innovación y colaboración entre todos los actores implicados.

Contribución:

Se propone una estrategia que permite la incorporación de soluciones avanzadas vía Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera, con la generación de un piloto de implementación para las adquisiciones de menor cuantía hasta los veinte mil dólares (20 KUSD) y suministros genéricos no especiales.

Brechas detectadas en la discusión de resultados:

Para abordar las brechas detectadas se proponen como aspectos para trabajos futuros las siguientes vías de acción:

- Aumentar la cantidad de participantes, incluyendo también expertos del área informática con experiencia en implementación de BC y diversificar las perspectivas, y recolectar información con mayor representatividad.
- Establecer la pérdida de valor y el costo asociado a los retrasos, problemas de calidad, entre otros factores que inciden en los suministros en proyectos y cómo BC aporta en abordarlos.

- Generar instancias de formación y divulgación, para que los adoptantes tempranos e innovadores dentro de la organización comprendan las características y aplicabilidades de BC.
- Realizar una revisión de las variables que intervienen dentro de una organización con el objetivo de generar pensamiento innovador, mitigando así la resistencia al cambio.
- Estudiar la adopción de la tecnología BC no solo en el resto de la cadena de suministro, sino también en otras áreas de la industria minera.

Referencias

- Althabatah, A., Yaqot, M., Menezes, B., & Kerbache, L. (2023). *Transformative Procurement Trends: Integrating Industry 4.0 technologies for enhanced procurement processes*. *Logistics*, <https://doi.org/10.3390/logistics7030063>
- Ara, R. A., Paardenkooper, K., & Van Duin, R. (2021). *A new blockchain system design to improve the supply chain of engineering, procurement and construction (EPC) companies – a case study in the oil and gas sector*. *Journal of Engineering Design and Technology*, <https://doi.org/10.1108/jedt-01-2021-0047>
- Arévalo Chávez, P., Cruz Cárdenas, J., Guevara Maldonado, C., Palacio Fierro, A., Bonilla Bedoya, S., Estrella Bastidas, A., Guadalupe Lanas, J., Zapata Rodríguez, M., Jadán Guerrero, J., Arias Flores, H., Ramos Galarza, C., Universidad Tecnológica Indoamérica, Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), & Universidad Indoamérica. (2020). *Actualización en metodología de la investigación científica*. Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica. <https://www.researchgate.net/publication/349038465>
- Bahar, M. N., Ries, M., Košťál, K., Faculty of Informatics and Information Technologies, Slovak University of Technology in Bratislava, & Slovak Research and Development Agency. (2024). *A Process Model for the Implementation of Blockchain-Based Systems*. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3521361>
- Díaz, R. M., Valdés, L. F., & Pérez, G. (2021). *Oportunidades y desafíos para la implementación de Blockchain en el ámbito logístico de América Latina y el Caribe*. *Facilitación, comercio y logística en América Latina y El Caribe* (387). <https://doi.org/https://repositorio.cepal.org/entities/publication/0612ad64-29ed-42cc-84d0-f83b7cabdee8>
- Elsharkawi, H., Elbeltagi, E., Eid, M. S., Alattyih, W., & Wefki, H. (2025). *Construction Payment Automation Through Scan-to-BIM and Blockchain-Enabled Smart Contract Buildings* <https://doi.org/10.3390/buildings15020213>
- Fortuna, G., & Gaspar, P. D. (2022). *Implementation of industrial traceability Systems: a case study of a luxury metal pieces manufacturing company*. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr10112444>
- Heim, H. (2022). *Revoluciones digitales de la moda: transparencia de la cadena de suministro, digitalización y la paradoja de la no divulgación*. *La Revista De Diseño, Proceso Creativo E Industria De La Moda*. <https://doi.org/10.1080/17569370.2022.2118975>
- IBM Blockchain. (2024). *IBM Blockchain client success stories*. <https://www.ibm.com/blockchain/use-cases/success-stories/>
- Institute, P. M. I. P. M. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Seventh edition and the Standard for Project Management (SPANISH)*.
- Ito, A., Ylipää, T., Gullander, P., Bokrantz, J., Centerholt, V., & Skoogh, A. (2021). *Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management*. *Journal Of Manufacturing Technology Management*, *32*(9), 285-303. <https://doi.org/10.1108/jmtm-12-2020-0475>
- Kaur, J., Rani, R., & Kalra, N. (2025). *Healthcare Data Security and Privacy Protection Framework Based on Dual Channel Blockchain*. *Transactions On Emerging Telecommunications Technologies*. <https://doi.org/10.1002/ett.70049>
- Moreno Monsalve, N., Delgado Ortiz, M., Rueda Varón, M., & Fajardo Moreno, W. S. (2023). *Desarrollo Sostenible y Creación de Valor, una Aproximación desde la Perspectiva de la Gestión de Proyectos*. *In Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15010472>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Rodrigues, M., Alves, M. D. C., Oliveira, C., Vale, J., & Silva, R. (2021). *The impact of strategy, environment, and the management system on the foreign subsidiary: the implication for open Innovation*. *Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity*, <https://doi.org/10.3390/joitmc7010051>
- Zavolokina, L., Bauer-Hänsel, I., Hacker, J., & Schwabe, G. (2024). *Organizing for value creation in blockchain information systems*. *Information And Organization*. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2024.100522>

4 CONCLUSIONES GENERALES

Este proyecto de grado determinó las ventajas y limitaciones de adoptar la tecnología Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera. Esto se evidenció por medio del análisis de la percepción de las personas entrevistadas y encuestadas.

Las ventajas y desventajas fueron presentadas en este estudio y son las que se expusieron en la Tabla VII del punto 2.6 Estrategia de implementación, del presente documento, y son las siguientes:

Ventajas:

- Potencial de mejora en la trazabilidad.
- Generación de valor para stakeholders.
- Alineación con tendencias globales.
- Mejora en la gestión contractual.

Desventajas:

- Desconocimiento de la tecnología blockchain.
- Resistencia al cambio.
- Falta de interfaces accesibles.
- Dependencia de procesos tradicionales.

Los datos nos muestran que el 60% de los entrevistados, mientras que el 33% de los encuestados no conocía la BC conceptualmente, acentuado con un 90% de entrevistados que no conoce ninguna aplicación en el área de adquisiciones de esta tecnología. Esto nos muestra que esta es una tecnología aún incipiente, pero desde la perspectiva del usuario, en el ámbito informático, podría no ser un problema al diseñar soluciones en base a la BC, por el rol de aquellos, en cuanto a que muchas veces no es necesario conocer como esta constituido un software sino se deben obtener las habilidades para usarlo.

A su vez, en este trabajo se propuso una estrategia, que puede tomarse como un primer camino, para la adopción del Blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos mineros, adecuándola a la criticidad de los proyectos y su efecto según su alcance de acuerdo con su concepción, es decir, proyectos de desarrollo (exploración o explotación),

por tipo de mineral, por su escala y complejidad, asociada a infraestructura o estructurales, etc.

Dentro de las observaciones realizadas, se detectó un desconocimiento considerable de la tecnología Blockchain, lo que se consideró como un obstáculo significativo para su adopción, sumado a la resistencia al cambio y una cultura organizacional conservadora, se determinó como vulnerabilidades que requieren un tratamiento a través de la estrategia propuesta.

Además, se reconocieron oportunidades explícitas, tales como la optimización de la trazabilidad y la creación de valor para los stakeholders, por lo que, un proyecto piloto se postuló como una estrategia inicial para evidenciar el valor de la tecnología blockchain, mitigar la resistencia al cambio y fomentar la confianza entre las partes interesadas, empleando una metodología flexible para facilitar un incremento gradual y cuantificable en la promesa de valor.

En síntesis, la incorporación de la tecnología Blockchain en la gestión de adquisiciones posee un potencial considerable. Sin embargo, demanda un enfoque estratégico que atienda las vulnerabilidades y amenazas presentadas, capitalice las fortalezas y oportunidades existentes, y promueva una cultura de innovación y colaboración entre todos los actores implicados.

Por otro lado, se pudo determinar las ventajas y desventajas de BC, ya mencionadas, y permitió analizar la percepción de los profesionales, que tienen un rol importante en el área de proyectos y de adquisiciones, respecto a las oportunidades que posee la tecnología blockchain, discutiendo su posible implementación en casos generales.

También, se analizaron las barreras más comunes para la adopción de blockchain, que aparecieron naturalmente dentro del contexto de las respuestas a las entrevistas y encuestas, considerando como mitigarlas por medio de una adecuada capacitación y sensibilización a las personas que eventualmente participen en su implementación para reducir el desconocimiento de BC y fomentar una cultura innovadora dentro de las organizaciones de proyectos y adquisiciones, transformándose una línea estratégica principal para este estudio.

Finalmente, se pudo describir el potencial aporte de la tecnología blockchain en la gestión y trazabilidad de adquisiciones en proyectos minero, enfocado en la última milla, vale decir,

desde que el bien es despachado hasta que llega al lugar del proyecto y se debe utilizar en este, y que si no es debidamente monitoreada causa retrasos indebidos y costos innecesarios.

En consecuencia, este trabajo contribuye en la propuesta de una estrategia que permite la incorporación de una solución vía Blockchain para la gestión y trazabilidad de las adquisiciones en proyectos de la industria minera, con la generación de un piloto de implementación para las adquisiciones, comenzando por las compras de menor cuantía - hasta los veinte mil dólares (20 KUSD)- y suministros genéricos no especiales, que no han sido clasificados como críticos o estratégicos, para evitar cualquier desviación mayor. Esta estrategia, es un inicio dentro de las posibilidades nos puede conducir un proyecto de implementación con la participación de diversos profesionales, empresas especializadas en BC, que complementada con otras tecnologías (IoT, IA, ML, BD, AR y VR)¹, resultaría en una herramienta mucho más poderosa y que pueda desplegarse en toda la cadena de suministros de una empresa minera, en áreas de producción y en áreas de staff.

(1) IoT: Internet de las cosas; IA: Inteligencia artificial; ML: Machine Learning; BD: Big data; AR: Realidad Aumentada; VR: Realidad Virtual

4.1.1 Propuesta para trabajos futuros

Este trabajo tiene un enfoque claro, pero que dejó rutas de estudios que pueden abordarse en trabajos futuros, siendo expuestas las siguientes vías de acción:

- Aumentar la cantidad de participantes, incluyendo también expertos del área informática con experiencia en implementación de BC y diversificar las perspectivas recolectando información con mayor representatividad e incluyendo factibilidad técnica de la solución.
- Establecer la pérdida de valor y el costo asociado a los retrasos, problemas de calidad, entre otros factores que inciden en los suministros en proyectos y cómo BC aporta en abordarlos, incluyendo métodos cuantitativos con información de proyectos finalizados que sirvan como base de estudio.
- Generar instancias de formación y divulgación, para que los adoptantes tempranos e innovadores dentro de la organización comprendan las características y aplicabilidades de BC, y disminuir las barreras que impiden la adopción de la tecnología en las organizaciones.

- Realizar una revisión de las variables que intervienen dentro de una organización con el objetivo de generar pensamiento innovador, mitigando así la resistencia al cambio.
- Estudiar la adopción de la tecnología BC no solo en el resto de la cadena de suministro, sino también en otras áreas de la industria minera.
- Para particularizar los resultados, la investigación debe realizarse una empresa minera específica
- Analizar más exhaustivamente la utilización de otros instrumentos como encuestas, y/o métodos matemáticos-estadísticos
- Considerar empresas de otras industrias
- Ampliar el alcance, incluyendo empresas que hayan implementado blockchain

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhabatah, A., Yaqot, M., Menezes, B., & Kerbache, L. (2023). Transformative Procurement Trends: Integrating Industry 4.0 technologies for enhanced procurement processes. *Logistics*, <https://doi.org/10.3390/logistics7030063>
- Ara, R. A., Paardenkooper, K., & Van Duin, R. (2021). A new blockchain system design to improve the supply chain of engineering, procurement and construction (EPC) companies – a case study in the oil and gas sector. *Journal of Engineering Design and Technology*, <https://doi.org/10.1108/jedt-01-2021-0047>
- Arévalo Chávez, P., Cruz Cárdenas, J., Guevara Maldonado, C., Palacio Fierro, A., Bonilla Bedoya, S., Estrella Bastidas, A., Guadalupe Lanas, J., Zapata Rodríguez, M., Jadán Guerrero, J., Arias Flores, H., Ramos Galarza, C., Universidad Tecnológica Indoamérica, Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), & Universidad Indoamérica. (2020). Actualización en metodología de la investigación científica. Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica. <https://www.researchgate.net/publication/349038465>
- Bahar, M. N., Ries, M., Košťál, K., Faculty of Informatics and Information Technologies, Slovak University of Technology in Bratislava, & Slovak Research and Development Agency. (2024). A Process Model for the Implementation of Blockchain-Based Systems. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3521361>
- Díaz, R. M., Valdés, L. F., & Pérez, G. (2021). Oportunidades y desafíos para la implementación de Blockchain en el ámbito logístico de América Latina y el Caribe. *Facilitación, comercio y logística en América Latina y El Caribe* (387). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/012145c2-620c-4463-8bfe-7a4b4ff92d60/content>
- Elsharkawi, H., Elbeltagi, E., Eid, M. S., Alattyih, W., & Wefki, H. (2025). Construction Payment Automation Through Scan-to-BIM and Blockchain-Enabled Smart Contract. *Buildings* <https://doi.org/10.3390/buildings15020213>
- Fortuna, G., & Gaspar, P. D. (2022). Implementation of industrial traceability Systems: a case study of a luxury metal pieces manufacturing company. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr10112444>

- Heim, H. (2022). Revoluciones digitales de la moda: transparencia de la cadena de suministro, digitalización y la paradoja de la no divulgación. *La Revista De Diseño, Proceso Creativo E Industria De La Moda*. <https://doi.org/10.1080/17569370.2022.2118975>
- IBM Blockchain. (2024). IBM Blockchain client success stories. <https://www.ibm.com/blockchain/use-cases/success-stories/>
- Institute, P. M. I. P. M. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Seventh edition and the Standard for Project Management (SPANISH).
- Ito, A., Ylipää, T., Gullander, P., Bokrantz, J., Centerholt, V., & Skoogh, A. (2021). Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management. *Journal Of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 285-303. <https://doi.org/10.1108/jmtm-12-2020-0475>
- Kaur, J., Rani, R., & Kalra, N. (2025). Healthcare Data Security and Privacy Protection Framework Based on Dual Channel Blockchain. *Transactions On Emerging Telecommunications Technologies*. <https://doi.org/10.1002/ett.70049>
- Lopes, J. M., Gomes, S., & Mané, L. (2022). Developing Knowledge of Supply Chain Resilience in Less-Developed Countries in the Pandemic Age. *Logistics*. <https://doi.org/10.3390/logistics6010003>
- Moreno Monsalve, N., Delgado Ortiz, M., Rueda Varón, M., & Fajardo Moreno, W. S. (2023). Desarrollo Sostenible y Creación de Valor, una Aproximación desde la Perspectiva de la Gestión de Proyectos. In *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15010472>.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- Rodrigues, M., Alves, M. D. C., Oliveira, C., Vale, J., & Silva, R. (2021). The impact of strategy, environment, and the management system on the foreign subsidiary: the implication for open Innovation. *Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity*, <https://doi.org/10.3390/joitmc7010051>
- Zavolokina, L., Bauer-Hänsel, I., Hacker, J., & Schwabe, G. (2024). Organizing for value creation in blockchain information systems. *Information And Organization*. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2024.100522>

6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 9,7 %

