

# LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN COMO HERRAMIENTA PARA REDUCIR LOS COSTOS AMBIENTALES Y CONTRIBUIR CON LA SOSTENIBILIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE LAS EMPRESAS DEL SECTOR MINERO (2023): CASO MINSUR

 **Carlos Antonio Suazo Paitampoma**

20196940 | a20196940@pucp.edu.pe

Miembro de costos y estudiante de séptimo ciclo de la Facultad de Ciencias Contables PUCP

 **Leonardo Fabrizzio Pérez Ocampo**

20185581 | a20185581@pucp.edu.pe

Estudiante de octavo ciclo de la Facultad de Ciencias Contables

## RESUMEN

La tecnología no solo representó una dificultad para la adaptación de las empresas del sector minero hacia la revolución digital, sino que también representó una oportunidad para mejorar el proceso productivo de sus actividades operativas enmarcadas en la cadena de suministro. La vanguardia de la revolución tecnológica trajo consigo la aparición de la tecnología Blockchain como una herramienta al servicio de las personas y empresas, la cual hoy en día está generando múltiples beneficios tanto sociales como económicos e incluso ambientales. En ese sentido, el interés del presente artículo es demostrar cómo la tecnología Blockchain puede convertirse en una herramienta para reducir los costos y contribuir con una cadena de suministro más sostenible para la empresa minera peruana, Minsur, a través de la optimización de la trazabilidad y

la transparencia de los procesos productivos. El desarrollo del presente artículo se compone en dos partes. En primer lugar, se conceptualizará la definición de la tecnología Blockchain, por lo que se definirán las características principales de esta tecnología y su aplicación en las empresas peruanas del sector minero. En la segunda parte, se explicará los beneficios que trae la tecnología Blockchain. Asimismo, se ilustrará la incorporación de la tecnología Blockchain en la empresa minera Minsur S.A. y los resultados que se viene obteniendo. Finalmente se concluye que la tecnología Blockchain genera un impacto positivo, debido a que logra reducir los costos ambientales que se producen dentro de la cadena de suministro de la compañía minera a través de la eficiencia de la gestión de riesgos y la sostenibilidad de las prácticas productivas.

**Palabras claves:** (5 a 7 palabras como máximo)

Trazabilidad, nodos, cadena de bloques, mineros, cadena de suministro, costos ambientales, sostenibilidad

## INTRODUCCIÓN

Durante años, la industria minera estuvo rodeada de problemas relacionados con la seguridad laboral y la explotación de recursos naturales en el medio ambiente. Dichos aspectos, debido a los procesos productivos de esta industria, han disminuido significativamente la confianza de sus clientes potenciales (UNDP, 2021b). Además, esta industria genera cerca de un tercio del total de emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales, en su mayoría, provienen de su cadena de suministro. Esto representa un gran reto para las empresas mineras, que deben adaptarse a una creciente demanda por prácticas responsables con el medio ambiente (Escobar & Galindo, 2021). En este contexto, la gestión sostenible en la cadena de suministro se convierte en un elemento clave, al igual que el interés por identificar e implementar herramientas y modelos que permitan mitigar el impacto ambiental. En este sentido, la tecnología Blockchain ha surgido como una solución potencial para satisfacer las necesidades de sostenibilidad que enfrentan las empresas. De esta manera, el presente artículo tiene como objetivo principal determinar cómo la tecnología Blockchain puede actuar como una herramienta eficiente para disminuir los costos ambientales y contribuir con la sostenibilidad de la cadena de suministro, tomando como caso de estudio a la empresa minera Minsur. Para cumplir con este propósito, el artículo se estructura en dos capítulos principales. El primer capítulo aborda la conceptualización de los aspectos teóricos relacionados con el uso de la tecnología Blockchain

en cadenas de suministro sostenibles. Dentro de este capítulo, el primer subcapítulo analiza las características y funciones de la tecnología Blockchain, mientras que el segundo subcapítulo examina los conceptos de sostenibilidad y cadenas de suministro sostenibles, estableciendo su relación con el uso de esta tecnología. Por otro lado, el segundo capítulo explora los beneficios potenciales de aplicar la tecnología Blockchain en la cadena de suministro. Estos beneficios están directamente relacionados con la capacidad de reducir costos ambientales y promover la sostenibilidad. Asimismo, este capítulo está dividido en dos secciones: la primera examina cómo esta tecnología mejora la gestión de riesgos en las cadenas de suministro, y la segunda analiza cómo contribuye a la sostenibilidad a través de prácticas productivas responsables. Finalmente, en las conclusiones se sintetizan los principales hallazgos del artículo, presentando un análisis de los puntos más relevantes de cada capítulo y reflexionando sobre el impacto que la tecnología Blockchain podría tener en la industria minera.

## CAPÍTULO 1 NOCIONES TEÓRICAS SOBRE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN Y SU RELACIÓN CON LA SOSTENIBILIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO

En el presente capítulo se describirán las características de la tecnología Blockchain en la cadena de suministro desde un enfoque de sostenibilidad en la cadena de suministros. Para ello, se divide en dos secciones: las características de la tecnología Blockchain y la sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro. En la primera sección, se explicarán los conceptos centrales relaciona-

dos a la tecnología Blockchain, así como su funcionalidad y aplicación para diferentes propósitos. Del mismo modo, se abordarán los principales aspectos positivos, beneficios y oportunidades; por otro lado, también se analizarán los aspectos negativos, así como sus riesgos y limitaciones. En la segunda sección, se desarrollarán los principales conceptos de sostenibilidad desde la gestión de la cadena de suministro. En primer lugar, se abordará el concepto de sostenibilidad y sus tres dimensiones: ambiental, económica y social. Luego, se explicarán los conceptos de los costos ambientales en la gestión empresarial. Por último, se abordará la transformación digital que la tecnología Blockchain viene desarrollando en la industria minera y su relación con ella.

### **1.1. PRINCIPALES CONCEPTOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN: LA OPTIMIZACIÓN DE LA TRAZABILIDAD Y LA TRANSPARENCIA**

Cada vez muchas organizaciones apuestan por innovaciones tecnológicas en búsqueda de mejorar sus procesos de producción e incrementar su eficiencia para volverse más competitivas en un mercado globalizado que demanda mayor rapidez y comunicación articulada entre los actores que participan en las empresas. Ante este panorama, la tecnología Blockchain surge como una herramienta para mejorar los distintos aspectos de las organizaciones, especialmente vinculados a las ineficiencias y vulnerabilidades generadas por sistemas de transacción incompatibles entre compañías. En este sentido, las principales funciones y aplicaciones de la tecnología Blockchain fueron estudiadas por diferentes autores. Para efectos de este artículo, se realizará una revisión de dichos estudios.

El surgimiento de la tecnología Blockchain se hizo muy popular por su aplicación en el mercado de las criptomonedas, también conocido como Bitcoin, durante el año 2009. En este contexto, fue definida como un sistema central de monedas digitales, la cual presenta la estructura de un libro contable compartido de manera descentralizada (Yahari, 2017). No obstante, la tecnología Blockchain no solo se basa en un registro de transacciones de las criptomonedas. Según Navidad: "Blockchain se puede definir como un libro de contabilidad digital distribuido de manera inmutable, la cual mantiene la información mediante la criptografía avanzada" (2017, p. 27). Por esta razón, Blockchain se ha consolidado como una tecnología digital que facilita la distribución, sincronización y protección de la información entre los diversos miembros de la organización.

En vista a ello, es necesario conocer cuáles son los componentes y sus funcionamiento que presenta la tecnología Blockchain como los bloques, mineros y nodos. Según Yahari, los bloques en una cadena de bloques consisten en transacciones verificadas que, tras ser validadas y distribuidas por una red de mineros encargados de autorizar



En este sentido, la tecnología Blockchain ha surgido como una solución potencial para satisfacer las necesidades de sostenibilidad que enfrentan las empresas.

su inclusión, se integran al sistema, asegurando su inmutabilidad y trazabilidad (2017). Es fundamental entender que los nodos son computadoras conectadas a la red, pero a diferencia de los mineros, su función principal es almacenar una copia actualizada de los cambios realizados en la cadena de bloques y distribuir esta información a los demás nodos (Yahari, 2017). De este modo, la tecnología Blockchain opera a través de una red de nodos y mineros, en la que los bloques de información se comparten dentro de una cadena protegida.

En relación con su funcionamiento, la tecnología Blockchain requiere la implementación de una red peer-to-peer (PSP), cuyo propósito es evitar que un solo participante o grupo tenga el control del sistema (Yahari, 2017). Así, la red peer-to-peer (PSP) resulta indispensable para asegurar la integridad de los bloques frente a posibles manipulaciones, garantizar la distribución y actualización de la información, y permitir la trazabilidad de la cadena en cada uno de los bloques. Debido a su naturaleza distributiva y segura, la tecnología Blockchain posee múltiples aplicaciones en diversos sectores, como las monedas digitales, contratos inteligentes, gobierno transparente, patentes, comercio electrónico, salud, entre otros (Yahari, 2017). En ese sentido, el nivel de alcance de sus aplicaciones de esta tecnología es tan variado que incluso en la actualidad se viene aplicando en las cadenas de suministros de muchas empresas del sector industrial. La tecnología revolucionaria Blockchain impactó en diferentes industrias desde el momento que se introdujo en los mercados con la aparición del Bitcoin (Ayavaca - Vallejo et al., 2022). Por ello, el tipo de aplicación o uso que se le quiere dar al Blockchain dependerá del

sector y actividad económica donde opere la organización.

En base a su funcionamiento y características, la tecnología Blockchain posee una serie de beneficios y oportunidades para las organizaciones. Como principales se destacan la trazabilidad y la transparencia (Paliwal et al., 2022) en las actividades realizadas tanto al interior como entre las mismas organizaciones. Por un lado, la trazabilidad se verá optimizada ya que no se requerirá la intervención de terceros para validar y hacer accesible la información no requiere de terceros que la validen y la hagan accesible, lo cual permitirá un manejo adecuado de la gestión de riesgos por parte de los participantes en el proceso de monitoreo (Xu et al., 2020), a través de programas computacionales. Por otro lado, la tecnología Blockchain permite que la información compartida en cada bloque se mantenga segura y transparente entre todos los participantes con acceso a la información. Dentro de sus principales oportunidades se encuentra su gran potencial de mejoramiento en la rentabilidad financiera de las industrias y la sostenibilidad de los procesos productivos. Uno de los sectores donde se destaca su aplicación es el minero, la cual Blockchain permite mantener segura la información y la trazabilidad de cada etapa del ciclo productivo de la compañía (Pardo, 2023) y, también, en el sector salud, ya que facilita administrar datos de ensayos clínicos y registros médicos electrónicos (Guaña-Moya et al., 2022) a través de Blockchain.

Así como también la tecnología Blockchain presenta muchos beneficios para las organizaciones, es necesario describir cuáles son sus limitaciones y riesgos a partir de su implementación. Una de las limitaciones que presenta esta tecnología son las inversiones

adicionales, pues se necesita implementar tanto tecnologías como plataformas digitales que permitan garantizar que la cadena se vuelva escalable, es decir, en constante crecimiento y, a su vez, pueda recopilar datos más específicos (Xu et al., 2020), los cuales representan altos costos y poca rentabilidad para las empresas de pequeño tamaño. Asimismo, la información inmutable de la tecnología Blockchain no está exenta de errores en la información contenida en un bloque (BBVA, 2020), puesto que, si es necesario realizar alguna modificación debido a un error, se tendrá que realizar un trabajo de manera conjunta y sincronizada en la red del soporte computacional para corregir la información incorrecta en cada uno de los bloques de la cadena. Asimismo, otra de las limitaciones que puede presentar esta tecnología es la intervención de los participantes en la cadena de suministro. Es necesario que todos los participantes intervengan en el funcionamiento de la tecnología Blockchain de la organización con el propósito de lograr los beneficios de esta tecnología (Song et al. 2019), representando así una limitación cuando existen pocos intervinientes en la cadena de suministros por los riesgos que conlleva.

Entre los principales riesgos se puede mencionar que existe un vacío legal en relación a la aplicación de la tecnología Blockchain y el intercambio de información en algunos países (BBVA, 2020). Esta tecnología no solo supone un riesgo en cómo registrar y emplear la protección de datos, sino que también puede representar una restricción para las compañías del exterior que comparten información. También se debe agregar la ausencia de una entidad reguladora que permita gestionar de forma verídica la información de los bloques (Song et

al. 2019), pues se puede ingresar de manera intencionada información inexacta en los bloques y, además, esta tecnología es vulnerable a ataques internos (BBVA, 2020), dado que la mayoría de sus componentes como nodos y mineros pueden estar manejados por personas o grupos que manipulan los bloques en la cadena.

## **1.2. LA SOSTENIBILIDAD Y LA GESTIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO**

La sostenibilidad está tomando fuerza en pleno siglo XXI, pues es percibida por muchas empresas como parte de parte de sus responsabilidades con el medio ambiente, ante dicha situación, muchas organizaciones están proponiendo iniciativas como parte de un enfoque de responsabilidad social corporativa hacia sus grupos de interés o stakeholders. Sin embargo, a pesar de que son muchos los esfuerzos por garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos por la Naciones Unidas (ODS), es preocupante que no se haya podido garantizar el cumplimiento de estos objetivos con miras al 2030. Tomando en cuenta los aspectos fundamentales de la tecnología Blockchain, se abordarán los términos conceptuales de sostenibilidad, cadena de suministro, costos ambientales y la relación que existe entre Blockchain y la industria minera.

Actualmente, la sostenibilidad es representada en forma de Objetivos de Desarrollo Sostenible, basada en dimensiones económicas, medioambientales y sociales (Syafudin et al., 2020). De esta manera, este enfoque no solo intenta obtener beneficios económicos para mejorar la competitividad en el sector, sino también promueve un impacto positivo en el desarrollo ambiental y social. Con miras al 2030, la sostenibilidad bajo el cumplimiento de una serie de dieci-

siete objetivos planteados, también conocidos ODS, que generarían un equilibrio para el desarrollo sostenible (UNDP, 2021b).

A partir de la definición del concepto de sostenibilidad, se requiere definir cada una de sus dimensiones. En primer lugar, la dimensión ambiental representa el aprovechamiento de los recursos naturales y energéticos, los cuales deben realizarse respetando su capacidad de regeneración y sin interferir en sus funciones ecológicas. (UNDP, 2021b). Es decir, promueve una extracción responsable de los recursos con el objetivo de garantizar un ambiente seguro para el desarrollo de la vida. Por otro lado, en el aspecto de la dimensión social se intenta contribuir al desarrollo económico y humano equitativo, el cual debe respetar la dignidad e integridad social de las personas (UNDP, 2021b). De esta manera, esta dimensión puede entenderse como las oportunidades de desarrollo de las comunidades, respetando los derechos humanos y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos. Finalmente, la dimensión económica busca lograr un crecimiento económico sostenido, en el cual se realizará un uso razonable del capital disponible, atendiendo a las demandas del consumidor y ejerciendo prácticas sociales responsables (UNDP, 2021b). Además, se incluiría la gestión de los costos relacionados a los recursos empleados y la prevención de los impactos negativos hacia el medio ambiente por parte de las organizaciones.

La preocupación por el medio ambiente ha ocasionado que muchas empresas busquen alternativas de solución para mitigar la contaminación. Ante este panorama, muchas empresas buscan llevar una mejor gestión dentro de sus cadenas de suministros para mejorar sus procesos de produc-

ción y, sobre todo, reducir el impacto que sus actividades generan hacia el medio ambiente. Por ello, la gestión o administración de la cadena de suministro influye significativamente en el éxito de las actividades y procesos que hay dentro de una cadena de suministros. Para empezar, se definirá el concepto de cadena de suministros como “un conjunto de organizaciones, personas, actividades, información y recursos que participan en el suministro de un servicio o productos a un consumidor final” (Navidad, 2021, p.46). Es decir, la cadena de suministro consiste en una red coordinada que abarca cada etapa del proceso productivo de un bien o servicio, la cual debe enfocarse en atender las necesidades del cliente.

La gestión de la cadena de suministros, también conocida como *supply chain management*, se define como la organización y supervisión de las actividades en la cadena de suministros que tienen como objetivo principal aportar valor al cliente o consumidor (Navidad, 2021). Esta gestión utiliza operaciones para conectarse desde el productor hasta las peticiones del consumidor, mediante una cadena y, asimismo, busca asegurar la preservación de la calidad del activo durante su recorrido a lo largo de la cadena de suministro. (Navidad, 2021). En efecto, la finalidad de la gestión de la cadena de suministro es mejorar las prácticas que existen en la cadena de suministro, así como, también reducir los riesgos que pueden existir en entornos cambiantes complejos y globalizados.

Los riesgos a los que una empresa puede enfrentarse son medibles en términos contables y financieros. Es así que, en un entorno ambiental, las empresas deben cuantificar su impacto que generan en el medio ambiente, por lo cual estos gastos





Debido a su naturaleza distributiva y segura, la tecnología Blockchain posee múltiples aplicaciones en diversos sectores, como las monedas digitales, contratos inteligentes, gobierno transparente, patentes, comercio electrónico, salud, entre otros (Yahari, 2017).

asociados con la finalidad de remediar el impacto en el medio medio se les conoce como costos ambientales. Una de las formas en que las organizaciones deben comprometerse con el cuidado del medio ambiente es en el manejo de los costos ambientales que se relacionan con el daño y la protección ambiental (Barrientos & Córdoba, 2020). Los costos ambientales son aquellos costos relacionados a las actividades vinculadas con el manejo responsable del ambiente de trabajo y los recursos utilizados por la actividad empresarial (Barrientos & Córdoba, 2020). Por lo tanto, la importancia de que las empresas lleven un mejor gestión dentro de las actividades que forman parte de sus cadenas de suministros radica en optimizar aquellos potenciales costos relacionados tanto a proteger el ambiente como mitigar sus impactos hacia ella misma. Por ello, Navidad (2021) sostiene que la gestión de la cadena de suministro debe centrarse en incrementar la competitividad de

las empresas mediante la diferenciación, ventaja en cuanto al manejo de costos, y la construcción de una cadena de suministro resiliente y dinámica. Esto mejoraría el rendimiento en los procesos de producción y las actividades en la cadena de suministro, lo cual es una buena respuesta para mejorar la rentabilidad financiera de la empresa y reducir el impacto en el medio ambiente.

Tras la explicación brindada sobre sostenibilidad y la gestión de la cadena de suministro, se explicará cómo la tecnología Blockchain viene transformando la industria minera y, asimismo, su relación con el sector minero. Como se ha podido observar en párrafos anteriores, la tecnología Blockchain viene desarrollándose en muchos ámbitos que no solo comprende el mercado de criptomonedas, sino también las mismas industrias, especialmente, la industria minera. Blockchain puede transformar la industria minera, puesto que Yahari (2017) agrega que con esta tecnología permite incrementos significativos en la cadena de suministros, pues ayuda a identificar de dónde provienen los productos.

La conexión entre la tecnología Blockchain y la industria minera se basa principalmente en la trazabilidad y la transparencia. Por un lado, la trazabilidad se define como el proceso donde el material de una mina identificada puede ser rastreado hasta el punto en que es usado para manufacturar un producto final (Dufey, A., 2020). Por lo tanto, la trazabilidad se vería automatizada por la tecnología Blockchain, pues se podrá identificar la información sobre las actividades y procesos en toda la cadena de suministro. Por otro lado, la relación tiene la tecnología Blockchain a través de la transparencia es la validación de la información con toda la transparencia y confiabilidad en el regis-

tro de los recursos y reservas, permitiendo garantizar el control de posibles alteraciones de la información o conflicto de interés con sus stakeholders o grupo de interés (Pardo, R., 2023). Por ello, la transparencia es beneficiosa para generar confianza hacia la empresa.

## **CAPÍTULO 2**

### **BLOCKCHAIN, SOSTENIBILIDAD, COSTOS AMBIENTALES Y CADENA DE SUMINISTRO: BENEFICIOS DEL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA EMPRESA MINERA MINSUR S.A.**

El presente capítulo tiene como objetivo demostrar las contribuciones y beneficios de la Tecnología Blockchain en la sostenibilidad en la cadena de suministro de la empresa minera Minsur durante el 2023, a través de la reducción de sus costos ambientales. Por ello, este capítulo se divide en dos secciones principales. En la primera sección, se explica la eficiencia que provee la Tecnología Blockchain sobre la gestión de riesgos ambientales en la cadena de suministro de Minsur. Para ello, se describen los principales desafíos ambientales que enfrentaron las cadenas de suministro de la industria minera en el periodo 2019-2021, con la finalidad de contextualizar el caso que se estudiará a lo largo del capítulo, y, asimismo, se describirá la empresa minera Minsur, su cadena de suministro y la implementación de la Tecnología Blockchain para mejorar su eficiencia en la gestión de su cadena de suministro.

En la segunda sección se abordan las contribuciones de la implementación de la Tecnología Blockchain en la compañía Minsur, a través de sus prácticas productivas desde un enfoque de sostenibilidad

ambiental. Con ese propósito, se explicará la contribución de la trazabilidad en la cadena de suministro de la compañía minera en la gestión del impacto medioambiental. Para finalizar, se aborda el aporte de la transparencia en la cadena de suministro, con el enfoque en la dimensión social de la sostenibilidad.

#### **2.1. Eficiencia en la gestión de riesgos ambientales en la cadena de suministro.**

Actualmente, la cuarta revolución industrial ofrece una oportunidad para la industria minera a través de la adopción de técnicas innovadoras que optimizan la eficiencia en el procesamiento de sus actividades. Esto genera una mejora en el rendimiento de las operaciones en todas las áreas de la mina, incluyendo producción, medio ambiente y seguridad (Torres et al., 2020). Así pues, con el aumento de la demanda, la industria minera ha acelerado los cambios en cómo se manejan en las cadenas de suministros y cómo se interrelacionan los actores en esta. En vista a ello, se desarrollarán los principales desafíos que enfrentan las cadenas de suministros de la industria minera y están ligadas a la necesidad de reducir costos ocasionados por el impacto hacia el medio ambiente, mientras se debe aumentar la productividad y ser más sustentables: demanda en el consumo de productos sostenibles, seguridad de los procesos extractivos y tráfico ilegal de minerales, pérdidas y desechos contaminantes y remediación de daños hacia el medio ambiente.

Por un lado, el incremento de la demanda de bienes y productos sostenibles percibida en la industria minera está condicionadas con las disposiciones regulatorias y normativas en determinados estados del mundo y la conciencia ambiental de la población por adquirir productos que mini-



micen el impacto ecológico. De acuerdo con Dufey A. (2020), la organización y supervisión de las actividades en la cadena de suministro tienen como objetivo principal aportar valor al cliente o consumidor. Así pues, el interés por consumir productos fabricados de manera sostenible y responsable está en proceso de crecimiento, impulsado por las consecuencias sociales y ambientales de la industria minera. La implementación de diversas regulaciones, estándares, directrices, guías y certificaciones tiene como objetivo garantizar un abastecimiento responsable de minerales, lo cual promueve mejoras en las prácticas empresariales para producir, comercializar y adquirir productos de manera sustentable, dirigido a un público cada vez más consciente del cambio climático (Dufey, A., 2020). El aumento de la demanda de productos más sustentables genera un incremento y consumo de recursos por parte de las industrias involucradas en la cadena de suministro se ven obligadas a innovar para responder a las exigencias sociales de ser más sustentables.

Por otro lado, la seguridad minera y el tráfico ilegal de recursos minerales son aspectos que repercuten directamente en el medio ambiente, tal es el caso de la provincia de Santiago de Chuco se encontraron mineras que llevaron a cabo actividades de extracción de forma ilegal, utilizando dragas y maquinarias que afectan el medio ambiente (Gabriel, 2020). Según Juan Gabriel (2020), la seguridad minera es un aspecto que deben asegurar las empresas mineras a lo largo de su cadena de suministro, a través de estándares de calidad y gestión de riesgos, para que sus procesos de extracción de minerales se encuentren libres de compuestos que causen estragos ambientales. Respecto al tráfico ilegal de minerales, esta

problemática consiste en la explotación ilegal de los recursos naturales para luego ser comercializados (Dufey, A., 2020), a través de la manipulación de los procesos en la cadena de suministros. De esta manera, la necesidad de reducir costos a lo largo de la cadena de suministro, inspección y seguimiento, estaría asociado en malas prácticas de las empresas mineras que producen estragos en el medio ambiente y las de sus trabajadores, además de las dificultades de gestión en un contexto globalizado.

Del mismo modo, la dificultad de gestión tiene un impacto en el incremento de las pérdidas y desechos contaminantes, pues ambas problemáticas estarían relacionados con la falta de un sistema adecuado en la cadena de suministro para localizar el origen de los problemas que afectan los procesos de extracción de minerales, y las causas de la proliferación de componentes químicos a lo largo de la cadena de suministro (Dufey, A., 2020). A esta problemática se suma la remediación de los daños de las empresas hacia el medio ambiente, cuando las empresas mineras provocan un daño significativo ambiental y buscan restaurar el medio (Gabriel, 2020), lo cual implica llevar una mejor gestión para responder ante problemas de seguridad minera y trazar su origen.

La industria minera, Minsur S.A. es una de las compañías peruanas enfocadas en la explotación, procesamiento y comercialización de minerales, principalmente estaño y oro. En concordancia con las tendencias globales, Minsur S.A. ha pasado por una serie de cambios estructurales dentro de sus operaciones con el objetivo de responder a las nuevas disposiciones ambientales, así como a los desafíos que se mencionaron en el apartado anterior. Las principales actividades económicas de la compañía Minsur

S.A. se desarrollan en el territorio peruano, especialmente en la mina de San Rafael, la mayor productora de estaño en Sudamérica. Así, la misión de Minsur S.A. es “generar valor agregado transformando recursos naturales de manera sostenible” (Minsur, 2024), mientras su visión es “desarrollar y operar activos mineros de clase mundial, siendo un referente en términos de seguridad, eficiencia operacional, responsabilidad socioambiental y desarrollo de personas” (Minsur, 2024). Por ello, la gestión en la cadena de suministros en Minsur S.A., además del enfoque de sostenibilidad, es fundamental para mejorar la eficiencia y reducir los costos en la cadena de suministro, lo cual sería su ventaja competitiva.

En la gestión de la cadena de suministro, su principal estrategia es el uso de tecnologías. A través de un proyecto piloto llevado a cabo por Minespider, Minsur y los socios Google, Cisco, SGS y Volkswagen en el año 2019, se iniciaron los preparativos para comenzar la implementación de la tecnología Blockchain en la compañía minera Minsur (El Comercio, 2023), con la finalidad de lograr la trazabilidad de sus procesos. La cadena de suministro de Minsur comprende desde la extracción minera del mineral hasta la comercialización del estaño refinado, pasando por procesos de logística, refinación y gestión de la sostenibilidad (Minsur, 2023). Este último es de vital importancia, puesto que Minsur emplea el proceso de extracción del mineral a gran escala. Además, Minsur S.A. se alineó con uno de los objetivos sostenibles, como el desarrollo de un índice de sustentabilidad, para mejorar la transparencia de su cadena de suministro (Minsur, 2023), dado que esto le permitirá mejorar la eficiencia y la gestión de riesgos.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia, la compañía minera optó por confiar en los beneficios que les podría brindar la tecnología Blockchain. En 2023, Minsur S.A. junto con Minispider decidieron emplear la trazabilidad en un cien por ciento de su producción de estaño con la aplicación de la Tecnología Blockchain (Proactivo, 2023). Esta aplicación tendría la meta de mejorar la transparencia y trazabilidad de los procesos productivos para evitar los estragos ambientales y garantizar la seguridad. Como parte de los resultados obtenidos con la implementación de esta tecnología, en el reporte de sostenibilidad publicado por la compañía minera, se determinó cero accidentes fatales dentro de las operaciones de procesamiento de estaño de su Unidad Minera San Rafael (Minsur, 2023), lo cual demuestra la efectividad de la prevención de las contingencias dentro de la compañía minera. La capacidad de prevención de estragos ambientales que posee la tecnología a través de la trazabilidad puede también traducirse estos beneficios en cuanto a los costos ambientales. Esta tecnología posee una capacidad para rastrear los datos de la cadena de suministro de minerales desde su origen hasta su fase final (Proactivo, 2023), por lo que permitirá reducir los costos ambientales al incurrir menos en costos de detección ambiental como llevar a cabo una auditoría de sus actividades ambientales, la inspección de los minerales durante su proceso de extracción y la realización de pruebas de contaminación.

## **2.2. SOSTENIBILIDAD EN LAS PRÁCTICAS PRODUCTIVAS DE MINSUR S.A.**

Como se mencionó anteriormente, la implementación de la Tecnología Blockchain por parte de la compañía minera Minsur tenía

como objetivo reducir los estragos ambientales que puedan presentarse en su cadena de suministro, a través de sus actividades operacionales. Como parte de los hallazgos presentados fue la optimización de la trazabilidad, la cual disminuyó los costos de inspección durante el proceso de extracción del mineral. Así, esta capacidad de trazabilidad permitirá también combatir el tráfico de minerales ilegales que puedan ocurrir en la cadena de suministro (Proactivo, 2023) y pueda causar un estrago ambiental en perjuicio de la compañía.

La implementación de esta tecnología no solo permitió mejorar la eficiencia de la cadena de suministro de la compañía Minsur S.A., sino transformar sus prácticas productivas desde un enfoque de sostenibilidad, por medio de la trazabilidad y transparencia en el procesamiento de los minerales. Gracias a la trazabilidad se reducen los desperdicios contaminantes como los relaves mineros, pues contribuye en la identificación de los desperdicios que generan contaminación dentro de sus procesos operativos. El desarrolló los pasaportes digitales de productos por parte de la tecnología Blockchain, que son identificaciones digitales del material que comunican fácilmente datos clave a lo largo de la cadena de suministro, evitaría que se desperdicien residuos contaminantes en durante sus procesos operacionales (Proactivo, 2023). Con ello mismo, al tener un registro de los procesos de los minerales a lo largo de la cadena de suministro, se puede identificar procesos ineficientes en los que se pierde tiempo en la identificación de productos contaminantes.

Por último, la reducción de los residuos contaminantes en la cadena de suministro indica una disminución de la huella de carbono de la empresa. Esto es fundamen-

tal para lograr un mejor desempeño de los objetivos de sostenibilidad que busca alcanzar Minsur S.A., especialmente, cuando se producen emisiones de dióxido de carbono por la emisión de desperdicios o residuos que se generan tanto en la producción como en la distribución en la CS (Minsur) y el total de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de la producción de minerales (UNDP, 2021b). Asimismo, Barrientos y Córdoba (2018) sostienen que la Tecnología Blockchain genera un registro general de cómo se realizan los distintos procesos en la cadena de suministro. Ello permitiría a las compañías mineras reducir la cantidad de residuos que impactan en el medio ambiente mediante y contribuyendo al rediseño de procesos más eficientes en la gestión de riesgos ambientales.

Ambos aspectos analizados se relacionarían también con la sostenibilidad enfocado en la dimensión social, ya que garantizan que la producción de los minerales se desarrolle de manera responsable, es decir, que contribuyan con la protección del medio ambiente y no perjudiquen a las comunidades y, principalmente, en la salud social, los cuales están vinculados con los objetivos de sostenibilidad de la compañía Minsur. Adicionalmente, se debe agregar que, gracias a la transparencia en la cadena de suministros, el tráfico ilegal de minerales es más detectable y, por tanto, mejor combatido.

A modo de conclusión, la implementación de la Tecnología Blockchain en la cadena de suministro de la compañía minera Minsur contribuye con la sostenibilidad al establecer determinadas prácticas como la potenciación de la trazabilidad y transparencia de sus operaciones. De esta manera, se tiene que la Tecnología Block-

chain facilita que los actores de la cadena de suministro cumplan con los objetivos sostenibles que se relacionen con la producción responsable. En el caso del procesamiento de estaño de la compañía Minsur se observó que la aplicación de Blockchain facilita la mejora continua de los procesos y prácticas en la cadena de suministro a través la optimización de la trazabilidad y la transparencia, lo cual contribuye a reducir los costos ambientales de la compañía con el objetivo de alcanzar un desarrollo sostenible.

## CONCLUSIONES

Por un lado, se determinó que la Tecnología Blockchain transforma las prácticas de las organizaciones al facilitar la trazabilidad de los datos en la cadena de bloques y distribuir la información entre todos los actores involucrados, siendo estas sus características inherentes a su funcionamiento. Asimismo, el desarrollo del concepto de sostenibilidad y la gestión de la cadena de suministro, se evidenció que esa gestión supone la adopción de prácticas destinadas a disminuir y amortiguar los impactos socio ambientales nega-

tivos, a través de los costos ambientales que acarrea las organizaciones. Dichas prácticas deben integrarse dentro de la cadena de suministro de la organización para obtener resultados deseados en cuanto al manejo de los costos ambientales, reducción de daños y protección ambiental.

Respecto al segundo capítulo, se evidenció que la implementación de la Tecnología Blockchain por la compañía Minsur S.A. fue desarrollada para transformar su cadena de suministros y responder a los desafíos ambientales, sobre todo garantizar la producción responsable de los minerales. La implementación de la Tecnología Blockchain se enfocó en la eficiencia de la gestión de cadena de suministro y la sostenibilidad de las prácticas productivas. Por un lado, la eficiencia de la gestión de cadena de suministros de Minsur S.A. se incrementó mediante la trazabilidad en el proceso de extracción de estaño. Además, permite que los operadores y gestores de producción agilicen su respuesta ante contingencias en los procesos de la cadena de suministro que repercuten en el medio ambiente. Por otro lado, con la implementación de Blockchain se mejora las prácticas productivas de la compañía Minsur S.A., debido a que favorece la sostenibilidad de la cadena de suministro al mejorar la trazabilidad y la transparencia. Primero, se demostró que la trazabilidad de las operaciones productivas de Minsur permite reducir los residuos contaminantes y la huella de carbono en la producción al mejorar la eficiencia en la gestión de riesgos, lo cual mejora el desempeño al reducir los costos ambientales y, además, la transparencia mejora la seguridad y producción al monitorear las prácticas productivas y la colaboración entre los actores de la cadena de suministro.



Se evidenciaría un efecto positivo, es decir, un incremento del volumen, si es que la cantidad de negociaciones se incrementa en los periodos en los que se encuentra vigente la exoneración por enajenación de acciones.

## BIBLIOGRAFÍA

Gabriel Alipio, J. A. (2020). *Ineficacia de las sanciones penales para el delito de minería ilegal, Santiago de Chuco, 2019* (Tesis de maestría). Universidad César Vallejo.

file:///C:/Users/USER/Documents/Seguridad%20minera.pdf

BBVA. (09 de diciembre de 2020). *BBVA lanza en Suiza su primer servicio comercial para la compra-venta y custodia de bitcoins*. BBVA. (1)

<https://www.bbva.com/es/innovacion/bbva-lanza-en-suiza-su-primer-servicio-comercial-para-la-compra-venta-y-custodia-de-bitcoins/>

Barrientos López, L. V., & Córdoba Perea, J. E. (2020). *Incidencia de los costos ambientales en las empresas mineras de Sonsón Antioquia a través de la Contabilidad de Gestión*. (2)

file:///C:/Users/USER/Downloads/Costos%20ambientales.pdf

Dufey, A. (2020). *Iniciativas para transparentar los aspectos ambientales y sociales en las cadenas de abastecimiento de la minería: tendencias internacionales y desafíos para los países andinos*. (3)

file:///C:/Users/USER/Documents/ONU%20minería.pdf

El Comercio. (2023, octubre 19). *Minsur: Primera empresa en el mundo en hacer trazable toda su producción de estaño mediante blockchain*. El Comercio.

<https://elcomercio.pe/economia/negocios/minsur-primera-empresa-en-el-mundo-en-hacer-trazable-toda-su-produccion-de-estano-mediante-blockchain-ultimas-noticia/?ref=ecr>

Escobar Bada, M. I., & Galindo Moreno, S. M. (2021). *Factores críticos del componente producción de la cadena de suministro en la pequeña minería de Ancash* (Trabajo para obtener el grado de bachiller). Pontificia Universidad Católica del Perú.

file:///C:/Users/USER/Documents/Cadena%de%20suministros.pdf

Guaña Moya, E. J., Roa, H. N., Marcillo Vera, F. R., Ayavaca Vallejo, L., Chiluisa Chiluisa, M., & Moya Carrera, B. (2022). *Tecnología Blockchain, qué es y cómo funciona*. (4)

[https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3444/1/Tecnología\\_Blockchain%2C\\_qué\\_es\\_.pdf](https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3444/1/Tecnología_Blockchain%2C_qué_es_.pdf)

Minsur. (2023). *Reporte de sostenibilidad Minsur 2023*. Minsur.

Minsur S.A. (2024). *Memoria anual*. Minsur.

<https://www.minsur.com/relacion-con-inversionistas/memoria-anual/>

Navidad Vidal, F. J. (2021). *La Tecnología Blockchain en la Industria 4.0*. (5)

file:///C:/Users/USER/Documents/Transformando%20las%20industrias%20a%20través%20de%20Blockchain.pdf

Paliwal, V., Chandra, S., y Sharma, S. (2020). Blockchain technology for sustainable supply chain management: A systematic literature review and a classification framework. *Sustainability*, 12(18), 1-39. (6)

<https://doi.org/10.3390/su12187638>

Pardo Domínguez, R. A. (2023). *Diseño de una Propuesta para Brindar Seguridad y Trazabilidad a la Información de la Ejecución de Proyectos en Empresas Mineras a Través de la Tecnología Blockchain* (Master's thesis, Escuela de Economía, Administración y Negocios). (7)

file:///C:/Users/USER/Documents/Blockchain%20en%20industrias%20minera

Proactivo. (2023, octubre 19). *Minsur: Primera empresa en el mundo en hacer trazable toda su producción de estaño mediante blockchain*. Proactivo.

<https://proactivo.com.pe/minsur-primera-empresa-en-el-mundo-en-hacer-trazable-toda-su-produccion-de-estano-mediante-blockchain/>

Song, M., Sung, J., y Park, T. (2019). *Applications of Blockchain to Improve Supply Chain Traceability. Procedia Computer Science*, 162, 119–122. (8)

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.266>

Syafrudin, S., Zaman, B., Budihardjo, M., Yumaroh, S., Gita1, D., y Lantip, D. (2020). Carbon Footprint of Academic Activities: A Case Study in Diponegoro University. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 448 (2020), 1–6. (9)

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/448/1/012008/pdf>

Torres Guerra, J. A., Mejía Cáceres, D., Moreyra Ramos, P., Oré Grados, J., & Oscoco Barrientos, S. (2021). Geometalurgia y el futuro de la minería digital en el Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad nacional mayor de San Marcos (Impresa)*, 24(47), 163–179.

<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20661>

United Nations Development Program [UNDP]. (2021b). *The SDGs in action*. (10)

<https://cutt.ly/WmL86Y1>

Xu, J., Guo, S., Xie, D., y Yan, Y. (2020). Blockchain: A new safeguard for agri-foods. *Artificial Intelligence Agriculture*, 4, 153–161. (11)

<https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.08.002>

Yahari, B. (2017). Blockchain y sus aplicaciones. *Universidad Católica Nuestra Señora de La Asunción*, 1, 1–19. (12)

<https://bit.ly/2rc0iZ9>