

**Propuesta de implementación del sistema inteligente de seguridad minera (SISM)  
mediante metodologías de innovación y tecnologías digitales, para reducir la  
accidentabilidad y potenciar la competitividad de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S**

Román Jair López Pinto

Wilmer Jhoan Rincón Rodríguez

Yeny Paola Avella Barrera

María Alexandra González Torres

Henry Yesid Galvis Hernández

Asesor

Ibeth Rodríguez González

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Industrial

2025

### **Dedicatoria**

El equipo de trabajo dedica este proyecto a los compañeros del diplomado y a la Sociedad Minera Los Pinos, en reconocimiento a su compromiso, colaboración y acompañamiento constante. Su apoyo y disposición para compartir información y experiencias hicieron posible alcanzar los resultados esperados y consolidar el aprendizaje obtenido durante este proceso formativo.

## **Agradecimientos**

El equipo de trabajo expresa su agradecimiento a los compañeros del diplomado por su compromiso, colaboración y disposición durante el desarrollo del presente proyecto. Su participación y trabajo conjunto permitieron fortalecer los conocimientos adquiridos y cumplir con los objetivos propuestos de manera exitosa.

De igual manera, se agradece a la Sociedad Minera Los Pinos por su valiosa disposición y apertura para compartir la información requerida, así como por el apoyo brindado en la aplicación práctica de los contenidos abordados. Su contribución fue fundamental para el desarrollo y la culminación satisfactoria de esta labor académica.

## Resumen

Este trabajo presenta una propuesta de innovación enfocada en fortalecer la seguridad y salud en el trabajo dentro de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. Se aborda el reto de reducir la accidentabilidad en el patio de carbón, promoviendo una cultura preventiva apoyada en tecnologías digitales. El objetivo principal consiste en diseñar e implementar el sistema inteligente de seguridad SISM, involucrando al talento humano mediante jornadas de sensibilización y capacitación. La metodología incluye Design Thinking, OKR, vigilancia tecnológica y el marco GIMI para crear y validar soluciones como sensores inteligentes los cuales permiten mejorar la detección de condiciones inseguras y reducir incidentes en las operaciones mineras.

Los resultados del proceso muestran avances importantes en la digitalización, participación activa del personal operativo y disminución de eventos de riesgo. Esta propuesta evidencia el potencial de la innovación para mejorar la competitividad y sostenibilidad en el sector minero. Estas acciones permiten incrementar la participación activa del personal operativo, optimizar el monitoreo de riesgos y fortalecer la prevención de accidentes laborales.

***Palabras clave:*** Seguridad, Innovación, Minería, Sensores, Prevención.

## **Abstract**

This work presents an innovation proposal focused on strengthening occupational health and safety in Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. The project addresses the challenge of reducing accidents in the coal yard by promoting a preventive culture supported by digital technologies. The main objective is to design and propose the Smart Mining Safety System (SISM), involving employees through awareness and training sessions. The methodology integrates design thinking, OKR, technology scouting and the GIMI framework to create and validate solutions such as smart sensors, which improve the detection of unsafe conditions and reduce incidents in mining operations.

The results show theoretical advances in digitalization, active participation of operating personnel and a reduction in risk events. This proposal demonstrates the potential of innovation to enhance competitiveness and sustainability in the mining sector. These proposed actions are aimed at increasing employee engagement, optimizing risk monitoring and strengthening accident prevention, pending future implementation.

***Keywords:*** Safety, Innovation, Mining, Sensors, Prevention.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	12
Justificación .....	14
Objetivos.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos .....	16
Marco Conceptual.....	17
Propuesta de Innovación de la Empresa Sociedad Minera Los Pinos S. A. S. ....	21
Conceptualización.....	21
Presentación de la Empresa Sociedad Minera Los Pinos S. A. S. ....	23
Metodología .....	25
Fase 1. Identificación del reto.....	27
Fase 2. Análisis de tendencias (Vigilancias tecnológicas) .....	27
Fase 3. Proceso de innovación basado en el modelo GIMI.....	28
Fase 4. Aplicación de la metodología Design Thinking.....	29
Resultados .....	36
Identificación del reto empresarial .....	36
Análisis de Tendencias .....	52
Aplicación de la Metodología Design Thinking.....	61
Empatizar .....	61
Definir.....	66
Prototipar .....	73
Evaluar/Probar .....	75

Diseño de Productos y/o servicios.....	81
Registro de OKR diseñados.....	84
Conclusiones.....	86
Recomendaciones .....	87
Referencias Bibliográficas .....	88

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Empatizar</i> .....	29
<b>Figura 2</b> <i>Definir</i> .....	30
<b>Figura 3</b> <i>Idear</i> .....	31
<b>Figura 4</b> <i>Idear</i> .....	32
<b>Figura 5</b> <i>Prototipado</i> .....	33
<b>Figura 6</b> <i>Evaluar</i> .....	34
<b>Figura 7</b> <i>Evaluar</i> .....	35
<b>Figura 8</b> <i>Intención de innovación</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Cuando y cuanto innovar</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Tipos de proyectos para invertir</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Insights de oportunidades</i> .....	40
<b>Figura 12</b> <i>Segmento de mercado</i> .....	41
<b>Figura 13</b> <i>Segmento de mercado y capacidades emergentes</i> .....	42
<b>Figura 14</b> <i>Minería circular y gestión de residuos</i> .....	43
<b>Figura 15</b> <i>Mapa de oportunidades</i> .....	43
<b>Figura 16</b> <i>Concepto de negocios</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Brochure conceptual</i> .....	45
<b>Figura 18</b> <i>Brochure conceptual innovación</i> .....	46
<b>Figura 19</b> <i>Brochure conceptual valor</i> .....	47
<b>Figura 20</b> <i>Brochure conceptual innovación</i> .....	48
<b>Figura 21</b> <i>Brochure conceptual red de innovación</i> .....	49
<b>Figura 22</b> <i>Presentación de conceptos de negocio</i> .....	50

<b>Figura 23</b> <i>Incremento en el uso de IoT y redes de sensores para vigilancia en tiempo real</i> .....	59
<b>Figura 24</b> <i>Evolución de patentes</i> .....	59
<b>Figura 25</b> <i>Temáticas</i> .....	60
<b>Figura 26</b> <i>Mapa de empatía</i> .....	65
<b>Figura 27</b> <i>Journey map</i> .....	66
<b>Figura 28</b> <i>Mapa de propuesta de valor</i> .....	71
<b>Figura 29</b> <i>Scamper</i> .....	72
<b>Figura 30</b> <i>Mapa de impacto</i> .....	74
<b>Figura 31</b> <i>Herramientas innovadoras</i> .....	75
<b>Figura 32</b> <i>Casco inteligente</i> .....	77
<b>Figura 33</b> <i>App</i> .....	78
<b>Figura 34</b> <i>Capacitación</i> .....	79
<b>Figura 35</b> <i>Socialización directivos y trabajadores</i> .....	80

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Marco conceptual</i> .....	17
<b>Tabla 2</b> <i>Bitácora de búsqueda de patentes</i> .....	53
<b>Tabla 3</b> <i>Tabla de empatía</i> .....	64
<b>Tabla 4</b> <i>Check List de lectura crítica</i> .....	67
<b>Tabla 5</b> <i>Registro de Objetivos y Resultados Clave (OKR) diseñados para la propuesta de innovación en seguridad y salud en el trabajo.</i> .....	84

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A</b> <i>Representación gráfica del mapa de propuesta de valor</i> .....	92
<b>Apéndice B</b> <i>Representación gráfica del Scamper</i> .....	92

## Introducción

En un entorno industrial caracterizado por transformaciones aceleradas y crecientes exigencias en competitividad, la innovación se reconoce como un factor estratégico para garantizar la sostenibilidad y eficiencia de las organizaciones. De acuerdo con Bessant J. (2018), la innovación no solo implica la incorporación de nuevas tecnologías, sino la capacidad de adaptarse, aprender y transformar procesos con el fin de resolver problemas reales. En el sector minero, esta necesidad es aún más apremiante debido a la naturaleza de alto riesgo de sus operaciones y a la complejidad de los sistemas de producción (Dhillon, 2019).

La Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. enfrenta actualmente un escenario crítico marcado por una alta accidentalidad laboral, particularmente en el patio de carbón, donde se ejecutan actividades de cargue, descargue y maniobras logísticas de alta exposición al riesgo (López Pinto et al., 2025a). Los registros operativos muestran incidentes asociados a sobreesfuerzos, contacto con material particulado, fallas en la comunicación, interpretación errónea de señales y errores humanos, los cuales afectan la integridad del personal y comprometen la continuidad operacional. La literatura técnica señala que la mayoría de los accidentes en la industria extractiva se relacionan con fallas en la gestión del riesgo, la ausencia de sistemas integrados de información y la dependencia de procedimientos manuales (Reason, 2016; Leiter & Maslach, 2021).

El problema central radica en que los procesos de seguridad de la empresa siguen siendo mayoritariamente reactivos, poco digitalizados y desconectados entre sí, lo que limita la capacidad de anticiparse al riesgo. Como afirman Hopkin (2018) y Manuj & Mentzer (2008), las organizaciones modernas requieren sistemas de gestión basados en datos, monitoreo continuo e integración tecnológica que permitan actuar preventivamente. En respuesta a esta necesidad, el

presente proyecto de grado, titulado “Propuesta de implementación de un sistema inteligente de seguridad minera (SISM) mediante metodologías de innovación y tecnologías digitales para reducir la accidentabilidad y mejorar la competitividad de la Sociedad Minero Los Pinos S.A.S”, propone una transformación digital de la gestión de la seguridad operacional.

La propuesta integra tres pilares estratégicos de gestión de información: Inteligencia de Negocios (IN), Vigilancia Tecnológica (VT) e Inteligencia Competitiva (IC), los cuales permiten recopilar, analizar y utilizar datos para la toma de decisiones informadas. Estos enfoques se complementan con tecnologías disruptivas como sistemas autónomos, sensores inteligentes y simuladores de Realidad Virtual (RV), ampliamente reconocidos en la literatura como herramientas efectivas para reducir exposición a peligros y fortalecer las capacidades de prevención (Bai et al., 2021; Azuma, 2016; Kim, Park & Kim, 2020).

Como parte del proyecto, se desarrolla el prototipo “SMLP – Sociedad Minera Los Pinos”, orientado a integrar datos operacionales, registros de incidentes, alertas tempranas y módulos de capacitación inmersiva, con el fin de facilitar una gestión sistemática, predictiva y eficiente del riesgo. Este prototipo constituye un primer paso hacia la digitalización integral del sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) de la compañía, alineándose con los lineamientos de la Política Nacional de Seguridad Minera y los principios de la Industria 4.0 aplicados al sector extractivo.

La formulación, análisis y validación de esta propuesta se desarrolla con el acompañamiento del semillero de investigación Xurgiendo, cuyo enfoque interdisciplinario ha permitido fortalecer la conceptualización técnica, metodológica y tecnológica del proyecto.

## Justificación

El presente proyecto se justifica en la necesidad de fortalecer la seguridad de los trabajadores y mejorar las condiciones laborales en la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., contribuyendo a su competitividad en el mercado regional. La minería es uno de los sectores con mayor riesgo operativo en Colombia: según la Agencia Nacional de Minería (ANM), entre 2011 y 2023 se registraron más de 1.350 accidentes mineros y más de 1.200 trabajadores fallecidos, siendo el 70% de los incidentes prevenibles mediante mejores prácticas de gestión del riesgo (ANM, 2023). Estos datos evidencian la urgencia de implementar estrategias innovadoras que reduzcan la exposición a peligros y fortalezcan los sistemas de prevención.

A nivel organizacional, la alta tasa de accidentalidad genera impactos económicos, sociales y reputacionales. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) señala que los accidentes laborales representan hasta el 4% del PIB mundial en pérdidas relacionadas con interrupciones de operación, incapacidades, indemnizaciones y sanciones regulatorias (OIT, 2021). En minería, estas cifras pueden ser mayores debido a la complejidad técnica y al nivel de peligrosidad, lo que hace indispensable la adopción de soluciones tecnológicas y metodológicas avanzadas.

En coherencia con estas necesidades, las tendencias globales en innovación para la seguridad minera muestran un avance significativo hacia la digitalización, el monitoreo inteligente y la automatización de procesos. Investigaciones recientes destacan que el uso de sensores portátiles, sistemas autónomos, analítica de datos y entrenamiento mediante realidad virtual reduce entre 25% y 40% la tasa de incidentes en operaciones de alto riesgo (Bai et al., 2021; Kim et al., 2020). Estas tecnologías permiten detectar peligros de forma temprana, mejorar

la supervisión en tiempo real y fortalecer la formación de los trabajadores, aspectos críticos en el entorno operativo del patio de carbón de Los Pinos S.A.S.

De igual manera, este proyecto aporta al cumplimiento de la normatividad vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), especialmente lo establecido en el Decreto 1072 de 2015, la Resolución 0312 de 2019 y la Política Nacional de Seguridad Minera (Ministerio de Minas y Energía, 2022). La adopción de herramientas innovadoras también responde a las recomendaciones internacionales de gestión del riesgo, que promueven la integración de tecnologías de información, sistemas de monitoreo continuo y metodologías preventivas (Reason, 2016).

Finalmente, la implementación de un proceso de innovación en SST no solo permitirá reducir costos derivados de incidentes laborales, sino también consolidar a la empresa como referente regional en minería responsable, impulsando la responsabilidad social empresarial y el bienestar de sus colaboradores. Este proyecto, por tanto, se convierte en una estrategia clave para garantizar la seguridad operacional, la sostenibilidad y la competitividad a largo plazo.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Implementar oportunidades de innovación en seguridad y salud en el trabajo en el patio de carbón de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., para reducir la accidentabilidad laboral y fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la empresa mediante la integración de tecnologías emergentes y metodologías de innovación aplicadas a la gestión preventiva.

### **Objetivos Específicos**

Apropiar conceptos clave y explorar tecnologías y modelos de referencia en seguridad y salud en el trabajo aplicables al sector minero.

Desarrollar un proceso de innovación, apoyado en el enfoque del Global Innovation Management Institute (GIMI) y la metodología Design Thinking, mediante herramientas creativas y metodologías participativas que permitan dar respuesta efectiva a los retos de la empresa.

Implementar acciones piloto en seguridad y salud en el trabajo en el patio de carbón, orientadas a disminuir los incidentes laborales y establecer las bases para una reducción progresiva en la accidentabilidad.

## Marco Conceptual

La *Tabla 1* (“Marco conceptual”) sintetiza los conceptos fundamentales que sustentan el sistema inteligente de seguridad minera (SISM), integrando teorías claves como Design Thinking de IDEO, metodología OKR, canvas de propuesta de valor de Osterwalder y vigilancia tecnológica VT/IC, alineados con normativas colombianas de SST minería (resolución 0312/2019). Esta matriz conceptual establece las bases teóricas y metodológicas para transformar la seguridad reactiva en preventiva mediante IoT, IA predictiva y cultura participativa en la sociedad minera Los Pinos SAS. La *Tabla 1* proporciona el andamiaje académico para validar la propuesta de innovación.

### Tabla 1

#### *Marco conceptual*

Concepto	Definición	Fuente
OKR (Objectives and Key Results)	Metodología de gestión ágil que permite definir objetivos cualitativos (O) y resultados clave (KR) cuantitativos, alineando la estrategia organizacional con resultados medibles.	Brunetta, H. (2023).

Objetivo (O)	Declaración cualitativa que expresa una meta estratégica e inspiradora que orienta los esfuerzos hacia un propósito común dentro de la organización.	Brunetta, H. (2023).
Resultado Clave	Indicador cuantitativo y verificable que permite medir el progreso hacia un objetivo. Representa metas específicas, retadoras y alcanzables.	León, M. Á. (2021).
Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	Sistema que promueve el bienestar físico, mental y social de los trabajadores mediante la prevención de accidentes y enfermedades laborales.	Ministerio del Trabajo de Colombia. (2022).
Innovación tecnológica	Proceso de adopción de tecnologías, herramientas o métodos nuevos que mejoran la eficiencia, seguridad o sostenibilidad de los procesos productivos.	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2018).

Sostenibilidad empresarial	Capacidad de una organización para mantener su crecimiento económico de manera equilibrada con la protección ambiental y la responsabilidad social.	Naciones Unidas. (2015).
Vigilancia tecnológica	La vigilancia tecnológica es un proceso sistemático y organizado de búsqueda, recolección, análisis y difusión de información relevante sobre avances científicos, tecnológicos, normativos y del entorno competitivo, con el propósito de anticipar cambios, identificar oportunidades y reducir riesgos asociados a la toma de decisiones.	Proceso sistemático Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de recopilación, Certificación (ICONTEC). (2019).
Patentes	Derecho exclusivo otorgado por el Estado para la explotación de una invención, permitiendo proteger desarrollos tecnológicos y fomentar la innovación.	Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). (2023).

Obras académicas	Producciones intelectuales derivadas de la investigación científica o técnica que contribuyen a la generación y transferencia de conocimiento.	Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). (2022).
Innovación en minería	Aplicación de nuevas tecnologías, métodos o modelos de gestión que optimizan la seguridad, sostenibilidad y productividad en las operaciones mineras.	Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2023).

---

**Nota:** Elaboración propia integrando fundamentos teóricos y normativos aplicados al contexto minero colombiano.

## **Propuesta de Innovación de la Empresa Sociedad Minera Los Pinos S. A. S.**

### **Conceptualización**

La Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. enfrenta el reto de mitigar la alta accidentalidad laboral, un problema que ha sido catalogado como un riesgo crítico en el patio de carbón, donde se concentra gran parte de las operaciones logísticas y de carga de la empresa (López Pinto et al., 2025a). Los registros internos y los reportes de seguridad evidencian una tendencia creciente en incidentes relacionados con maniobras manuales, exposición a materiales particulados, fallas en la comunicación operacional y errores humanos, factores que no solo afectan la integridad física de los trabajadores, sino también la continuidad de las operaciones y la reputación corporativa.

El problema central radica en la dependencia de procesos manuales y reactivos para la gestión de la seguridad, lo que limita la capacidad de la organización para prevenir accidentes de manera anticipada y tomar decisiones basadas en datos. Además, la falta de integración tecnológica entre los sistemas de monitoreo, capacitación y análisis de riesgos ha generado brechas en la identificación temprana de peligros y en la comunicación efectiva de alertas entre los equipos operativos y administrativos.

Ante este contexto, la presente propuesta plantea una transformación digital de la seguridad operacional, orientada a fortalecer la prevención de accidentes mediante la integración de tres conceptos clave de gestión de información: la Inteligencia de Negocios (IN), la Vigilancia Tecnológica (VT) y la Inteligencia Competitiva (IC). Estos enfoques se complementan con la adopción de tecnologías disruptivas, como los sistemas autónomos y la Realidad Virtual (RV), herramientas que permitirán optimizar los procesos de capacitación, control y respuesta ante riesgos (López Pinto et al., 2025b).

En conjunto, esta estrategia busca reducir la exposición humana a entornos peligrosos, aumentar la eficiencia operacional y garantizar la sostenibilidad y competitividad a largo plazo de la organización, en coherencia con los lineamientos de la Política Nacional de Seguridad Minera y los objetivos de la Industria 4.0 aplicados al sector extractivo.

## **Presentación de la Empresa Sociedad Minera Los Pinos S. A. S.**

Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. es una empresa colombiana dedicada a la extracción, acopio, trituración y comercialización de carbón mineral, con operaciones en los municipios de Socha y Socotá (Boyacá). Actualmente cuenta con más de 100 empleados formalmente vinculados, clasificada como empresa de alto riesgo (Clase IV) por su actividad minera subterránea. Está afiliada a ARL Positiva, Nueva EPS, Comfaboy y cuenta con seguro de alto riesgo, además de una destacada labor social a través de la Fundación Cascos de Colores, que impulsa proyectos de educación, medio ambiente y apoyo comunitario.

La empresa fue fundada por los hijos de Natanael Medina Vega y Blanca López, quienes decidieron modernizar el legado minero familiar mediante la formalización y tecnificación de los procesos. Con el tiempo, Los Pinos S.A.S. se consolidó como una de las compañías más estables del corredor minero de Boyacá, reconocida por su cumplimiento normativo, seguridad operativa y compromiso social. Bajo el liderazgo de Mónica, Jhonatan y Cristian Medina López, la organización combina tradición y tecnología para promover una minería responsable, segura y sostenible.

Su misión es extraer carbón de forma segura, eficiente y responsable, generando desarrollo económico regional y preservando el entorno ambiental y social. Su visión apunta a consolidarse como referente nacional en sostenibilidad, innovación tecnológica y desarrollo social, destacándose por su compromiso con las comunidades mineras y la mejora continua de la seguridad industrial.

En términos organizacionales, la empresa se estructura en áreas lideradas por la Gerencia General, Operaciones, Minas, Talento Humano y Sostenibilidad. Sus principales clientes — Acerías Paz del Río, Carbocoque S.A.S., Minminner S.A.S. y Minex Ltda. -- reflejan una red

comercial sólida y confiable, sustentada en la calidad del carbón metalúrgico y la formalidad de sus procesos.

El sector minero boyacense presenta una alta competencia con empresas como Colocar, MILPA y Carbominerales, y con grandes productores nacionales como Cerrejón y Drummond. No obstante, Los Pinos se distingue por su gestión integral en seguridad y salud en el trabajo (SST) y su compromiso social genuino, aspectos que le permiten mantener ventajas competitivas en un entorno desafiante.

Su perspectiva de crecimiento y sostenibilidad se enfoca en la digitalización del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), la incorporación de tecnologías inteligentes, el fortalecimiento de la cultura preventiva y la diversificación comercial, con el propósito de seguir contribuyendo al desarrollo de una minería moderna, segura y sostenible en Colombia.

## Metodología

Para el desarrollo del proyecto de innovación en seguridad operacional de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., se aplicaron metodologías ágiles y centradas en el usuario, integrando herramientas como Design Thinking, el marco GIMI (Global Innovation Management Institute), la planificación mediante OKR (Objectives and Key Results) y vigilancia tecnológica especializada en minería digital.

Estas metodologías se seleccionaron por su capacidad para generar soluciones prácticas y adaptadas al contexto operativo de la empresa, enfocándose en el patio de carbón, área crítica por su alta accidentabilidad.

El proceso inició con la aplicación de Design Thinking, que permitió comprender las necesidades reales de los trabajadores del patio de carbón mediante observación directa, entrevistas y encuestas de percepción de riesgo. En la fase de empatía se identificaron dolores como sobreesfuerzos físicos, exposición a polvo y falta de comunicación en tiempo real. Posteriormente, en la fase de definición se priorizó el reto principal: reducir incidentes por condiciones inseguras no detectadas oportunamente. Durante la ideación se generaron ideas junto con operarios y supervisores, destacando soluciones digitales como sensores inteligentes y alertas tempranas. Finalmente, en las fases de prototipado y prueba se diseñó conceptualmente el Sistema Inteligente de Seguridad Minera (SISM) y se validó su viabilidad con el personal operativo.

El marco GIMI estructuró todo el proceso de innovación en etapas claras: descubrimiento (diagnóstico inicial de la situación de seguridad en la empresa), ideación (generación de propuestas tecnológicas), desarrollo (diseño detallado del SISM con componentes como cascos inteligentes y aplicación móvil) y validación (evaluación conceptual de la solución

propuesta). Esta estructura garantizó un enfoque sistemático y alineado con los objetivos organizacionales de seguridad y competitividad.

Los OKR se implementaron para monitorear avances cuantificables en cada fase del proyecto. Se definieron objetivos ambiciosos como “Diseñar un sistema que reduzca en 30 % la percepción de riesgo en el patio de carbón” con resultados clave medibles, tales como “Realizar al menos 15 entrevistas con trabajadores”, “Identificar 10 tendencias tecnológicas aplicables” y “Validar conceptualmente el prototipo con el 100 % del equipo operativo involucrado”. Esta herramienta aseguró coherencia entre los objetivos de seguridad minera y los indicadores de desempeño operativo de la empresa.

La vigilancia tecnológica se llevó a cabo mediante búsqueda sistemática de tendencias globales en sistemas autónomos, Internet de las Cosas (IoT), sensores inteligentes y Realidad Virtual (RV) aplicadas al sector minero.

La integración de estas metodologías permitió un enfoque iterativo y colaborativo, involucrando activamente al talento humano de la empresa en todas las etapas.

### **Fase 1. Identificación del reto**

En esta fase se aplicó una encuesta de innovación organizacional a la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., con el propósito de evaluar el nivel de madurez en materia de innovación y transformación tecnológica en el ámbito de la seguridad operacional. La encuesta se diseñó con base en el Instrumento de Diagnóstico de Innovación Organizacional Colombiana (2025), un cuestionario estructurado de 22 páginas que abarca dimensiones clave como liderazgo innovador, cultura organizacional, gestión tecnológica, digitalización de procesos y vigilancia tecnológica.

El proceso de aplicación involucró la selección de participantes relevantes dentro de la empresa, incluyendo personal operativo y administrativo del patio de carbón, área focal del proyecto. Se distribuyó la encuesta de manera digital para facilitar la recopilación de respuestas, asegurando anonimato para fomentar respuestas honestas. Adicionalmente, se complementó con técnicas de Design Thinking en su etapa de empatía, mediante observación directa en sitio, entrevistas semiestructuradas con trabajadores y supervisores, y encuestas adicionales de percepción de riesgo para recopilar datos cualitativos sobre las condiciones laborales cotidianas. Este enfoque mixto permitió una recopilación integral de insumos primarios, preparando el terreno para las fases subsiguientes del proceso de innovación.

### **Fase 2. Análisis de tendencias (Vigilancias tecnológicas)**

Se realizó una revisión documental sistemática de fuentes científicas, técnicas e institucionales con el objetivo de identificar tendencias actuales en innovación tecnológica aplicada a la seguridad operacional en el sector minero. La vigilancia tecnológica se estructuró mediante la consulta de bases de datos académicas especializadas como Scopus, Web of Science y Google Scholar; repositorios técnicos y normativos de entidades como la OCDE, la OIT, el Ministerio de Minas y Energía y la Superintendencia de Industria y Comercio; así como

documentos técnicos de organismos de normalización como ICONTEC. La búsqueda se realizó a partir de palabras clave asociadas a automatización de procesos, sistemas de monitoreo inteligente y estrategias de capacitación inmersiva aplicadas a entornos industriales de alto riesgo.

El proceso se limitó a la aplicación de un ejercicio de vigilancia tecnológica, el cual incluyó la consulta y análisis de publicaciones y reportes técnicos relacionados con la aplicación de la Realidad Virtual (RV) en la formación de trabajadores, el uso de sistemas autónomos en zonas críticas de operación minera y la implementación de herramientas de Inteligencia de Negocios (IN) orientadas a la gestión predictiva de incidentes. Asimismo, se consideraron lineamientos normativos y documentos institucionales emitidos por el Ministerio de Minas y Energía (2023), la Agencia Nacional de Minería (2022) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2019), con el fin de asegurar la alineación del análisis con los estándares nacionales e internacionales en materia de seguridad y salud en el trabajo.

### **Fase 3. Proceso de innovación basado en el modelo GIMI**

En esta fase se aplicó el marco metodológico del Global Innovation Management Institute (GIMI), que estructura el proceso de innovación en cuatro etapas principales: descubrimiento de oportunidades, generación de ideas, desarrollo de soluciones y diseño del modelo de innovación. Este modelo se seleccionó por su enfoque sistemático y certificable, permitiendo alinear la propuesta con las capacidades tecnológicas y necesidades operativas de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.

En la etapa de desarrollo de soluciones del modelo GIMI, se integraron los hallazgos de la vigilancia tecnológica mediante la conceptualización de componentes tecnológicos, como sensores, alertas tempranas y plataformas de capacitación. Se emplearon prototipos conceptuales

(bocetos, diagramas y modelos básicos) para representar la solución propuesta, facilitando la iteración con el equipo operativo.

En la etapa de diseño del modelo de innovación se estructuró la propuesta integral, definiendo su arquitectura general, los componentes funcionales y un plan de implementación a nivel conceptual. Esta fase permitió consolidar los elementos tecnológicos, organizacionales y operativos del proyecto, asegurando su coherencia con los objetivos de seguridad operacional en el contexto minero.

#### **Fase 4. Aplicación de la metodología Design Thinking**

A través de las etapas de empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar, se desarrolló un proceso creativo centrado en el trabajador minero. Esta metodología facilitó el diseño de una solución tecnológica funcional y orientada a la seguridad operacional, alineada con los objetivos estratégicos de prevención y transformación digital de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.

La *Figura 1* (“Empatizar”) representa la primera etapa del proceso de Design Thinking aplicado al sistema inteligente de seguridad minera (SISM), centrado en comprender profundamente a los usuarios finales, especialmente específicamente los trabajadores mineros. Esta fase consiste en observar y registrar de manera detallada y sin prejuicios las experiencias del usuario, incluyendo sus acciones cotidianas, emociones y motivaciones inferidas, las cuales se validan posteriormente con los propios involucrados. La *ilustración 1* ilustra cómo está inmersión empática genera insights auténticos para diseñar soluciones de seguridad relevantes y efectivas.

#### **Figura 1**

*Empatizar*



*Nota:* elaboración propia.

La *figura 2* (“Definir”) representa la segunda etapa del proceso de Design Thinking en el desarrollo del sistema inteligente de seguridad minera (SISM), donde se sintetizan los datos recolectados durante la fase de empatía para identificar con precisión los problemas centrales que enfrentan los usuarios, particularmente los trabajadores mineros. Esta fase transforma las observaciones empíricas en declaraciones de problemas claros y accionables, enfocándose en las necesidades reales y dolores operativos detectados. La *figura 2* ilustra cómo esta síntesis analítica establece las bases para generar soluciones innovadoras y específicas en seguridad minera.

## **Figura 2**

*Definir*



*Nota:* elaboración propia, realización de encuestas por parte de trabajadores

**Figura 3**

*Idear*



*Nota:* elaboración propia, asistencia de trabajadores en capacitaciones.

La *figura 3* (“Idear”) representa la tercera etapa del proceso de Design Thinking aplicado en el sistema inteligente de seguridad minera (SISM), enfocada en la generación creativa de posibles soluciones para los problemas identificados en seguridad minera. Esta fase fomenta técnicas colaborativas como la lluvia de ideas, preguntas provocativas del tipo cómo podríamos diseñar mapas mentales y talleres grupales para explorar un amplio espectro de ideas sin restricciones iniciales. La *figura 4* ilustra cómo la divergencia creativa produce un conjunto diverso de propuestas innovadoras para abordar los desafíos operativos de los trabajadores mineros.

#### Figura 4

*Idear*



**Nota:** elaboración propia, participación de trabajadores en capacitaciones.

La *figura 5* (“Prototipado”) representa la cuarta etapa del proceso de Design Thinking en el desarrollo del sistema inteligente de seguridad minera (SISM), donde se construyen representaciones tangibles y simples de las ideas seleccionadas para explorarlas y mejorarlas iterativamente. Esta fase utiliza prototipos variados como bocetos rápidos, modelos físicos básicos o simulaciones digitales permitiendo validar la funcionalidad inicial y obtener retroalimentación temprana de los usuarios mineros. La *figura 5* ilustra cómo estos prototipos de baja fidelidad aceleran el aprendizaje y refinan las soluciones de seguridad antes de su implementación completa.

### Figura 5

#### *Prototipado*



**Nota:** elaboración propia, capacitación de trabajadores

La *figura 6* (“Evaluar”) representa la quinta y última etapa del proceso de Design Thinking aplicado al sistema inteligente de seguridad minera (SISM), dónde se involucra

directamente a los usuarios reales, como los trabajadores mineros, para qué interactúen con los prototipos desarrollados. Esta fase recoge retroalimentación auténtica sobre sus experiencias, analizando aciertos y fallos detectados para realizar ajustes iterativos que perfeccionan la solución. La *figura 7* ilustra cómo esta validación final cierra el ciclo de innovación, asegurando que el sistema sea efectivo, utilizable y alineado con las necesidades operativas reales.

## Figura 6

*Evaluar*



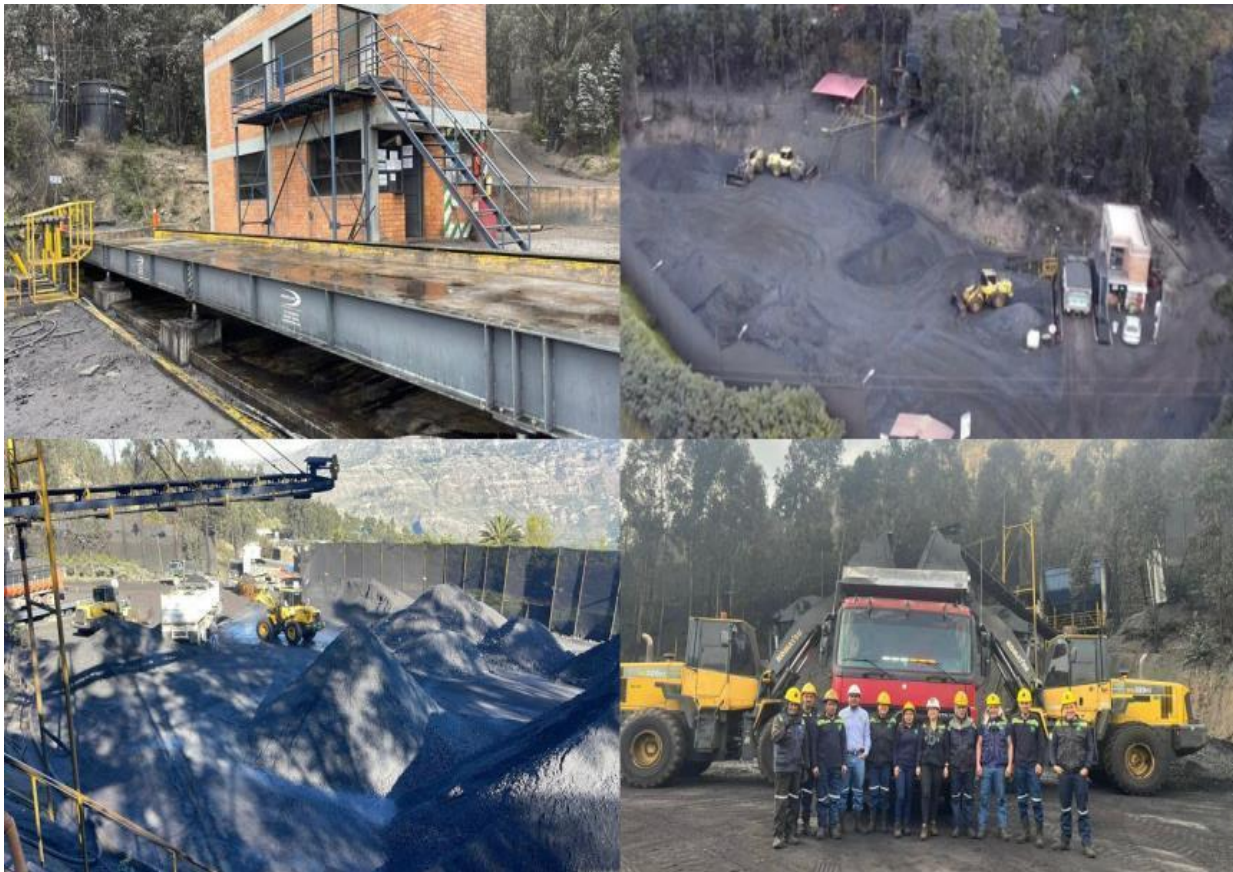
**Nota:** elaboración propia, orientación al trabajador para la seguridad operativa.

La *figura 6* (“Evaluar”) muestra un proceso creativo efectivo centrado en el trabajador minero, orientado a diseñar soluciones innovadoras y prácticas para la seguridad operativa. Esta representación gráfica enfatiza cómo la evaluación iterativa coloca al usuario final en el núcleo del desarrollo, asegurando que las soluciones del sistema inteligente de seguridad minera SISM

responden directamente a sus necesidades reales. La figura 7 refuerza la importancia de este enfoque centrado en el humano para generar impactos transformadores en la minería.

### Figura 7

*Evaluar*



*Nota:* elaboración propia, instalaciones de la mina.

## Resultados

### Identificación del reto empresarial

La Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., dedicada a la extracción y procesamiento de carbón, enfrenta retos críticos en materia de seguridad operacional, particularmente en el patio de carbón, donde se concentra gran parte de las actividades de carga, transporte y almacenamiento del material (López Pinto et al., 2025a). Entre los principales desafíos identificados se encuentran la alta accidentalidad laboral, la exposición constante de los trabajadores a zonas de riesgo, la limitada automatización de procesos y la dependencia de procedimientos manuales, factores que afectan directamente la eficiencia productiva y la sostenibilidad organizacional.

Según el Ministerio de Minas y Energía (2024), la minería colombiana aún presenta brechas significativas en la adopción de tecnologías seguras y sostenibles, lo que incrementa los índices de incidentes en operaciones de alto riesgo. Esta situación exige una transformación estructural hacia modelos de gestión digital e inteligente de la seguridad, capaz de anticipar, controlar y mitigar los riesgos mediante el uso de herramientas tecnológicas avanzadas.

El reto empresarial identificado se centra en implementar una solución innovadora que combine la transformación digital y la automatización de la seguridad operacional, integrando sistemas de Inteligencia de Negocios (IN), Vigilancia Tecnológica (VT), Inteligencia Competitiva (IC), sistemas autónomos y Realidad Virtual (RV). El objetivo es reducir la exposición humana a entornos peligrosos, mejorar la eficiencia de las operaciones mineras y posicionar a la empresa como un referente en minería responsable y tecnificada.

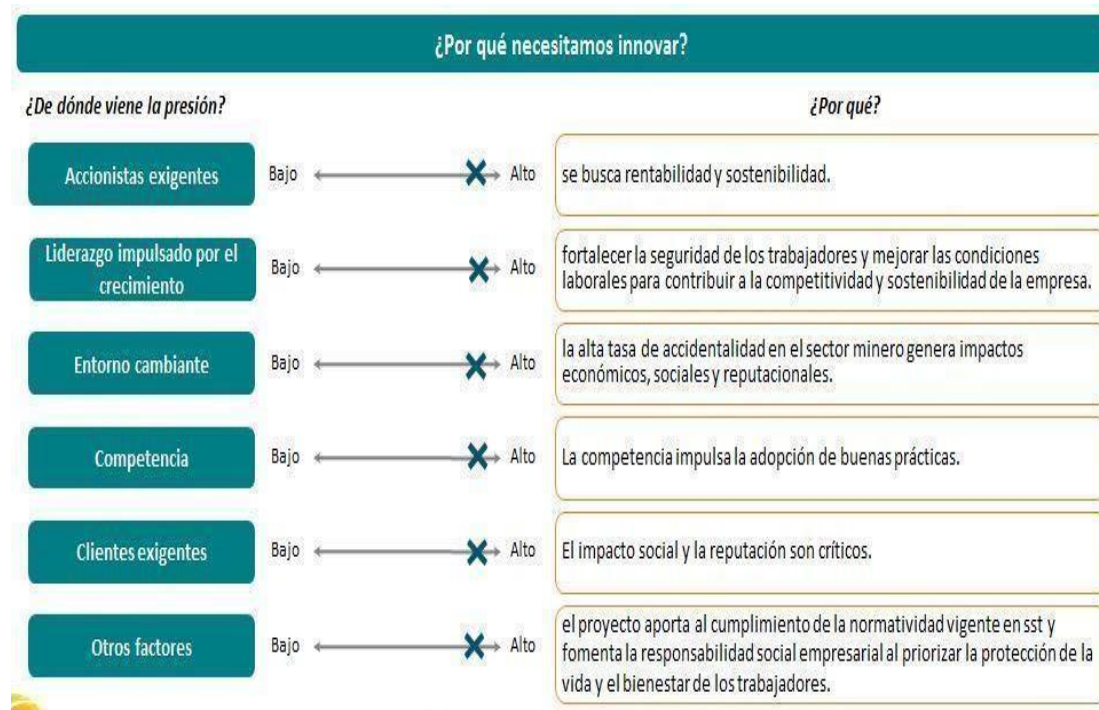
Durante la etapa de diagnóstico, se identificaron barreras internas como la falta de infraestructura digital, la resistencia al cambio del personal operativo y la ausencia de un área

formal de investigación e innovación (I+D+i). No obstante, también se evidenció una fuerte disposición por parte del equipo directivo y técnico para adoptar herramientas tecnológicas que mejoren la seguridad, optimicen los procesos y aseguren la sostenibilidad a largo plazo, lo que dio origen al desarrollo del presente proyecto de innovación en seguridad operacional

La *figura 8*. (“Intención de innovación”) ilustra las principales presiones que impulsan la innovación en el sector minero. En ella se representan factores claves como la alta exigencia de los accionistas, un liderazgo orientado al crecimiento, un entorno cambiante caracterizado por elevada accidentabilidad, competencia intensa y clientes demandantes. Estos elementos, mostrados de manera integrada en la *figura 8*, evidencian la necesidad imperiosa de innovar para garantizar la rentabilidad, sostenibilidad, seguridad y competitividad de las organizaciones mineras.

## Figura 8

### Intención de innovación

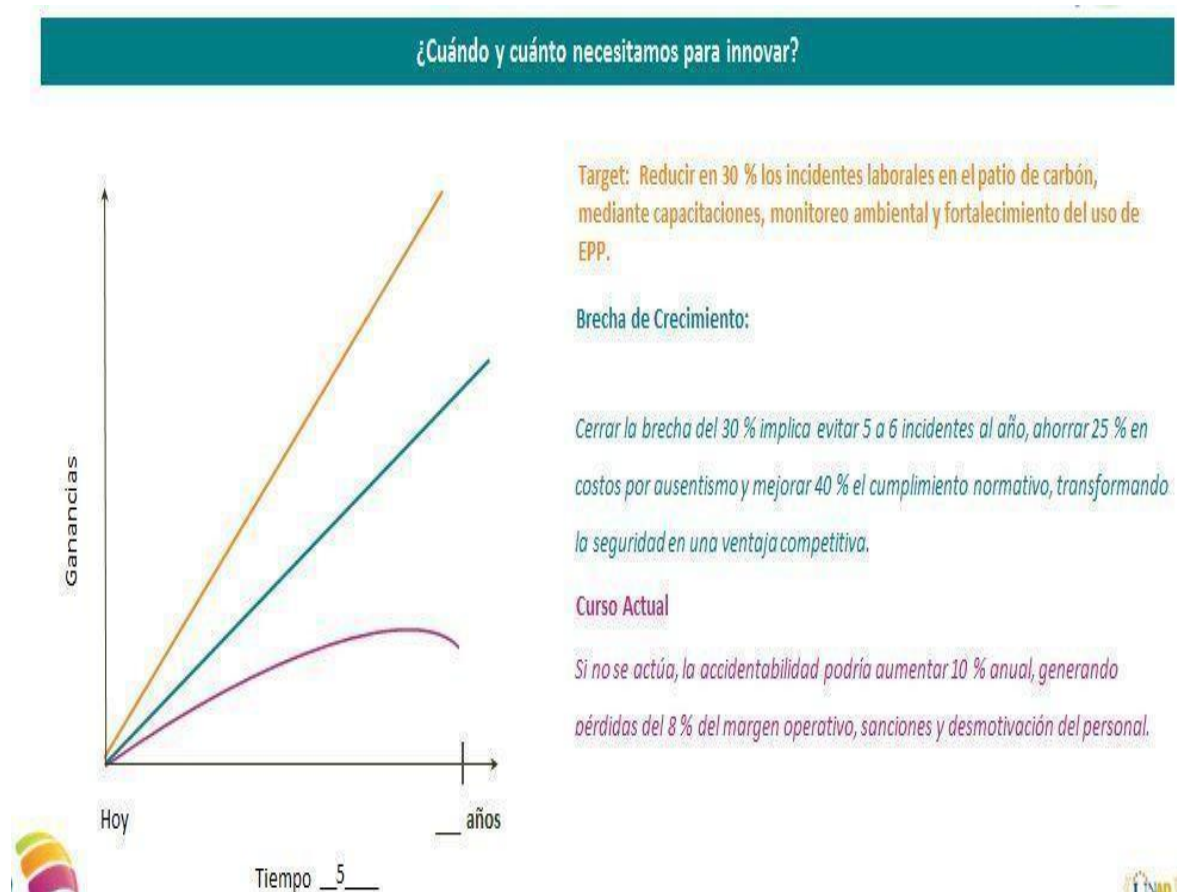


*Nota: Adaptada según metodología GIMI*

La *figura 9* (“Cuando y cuanto innovar”) detalla la urgencia estratégica de innovar en seguridad minera para reducir en un 30% los incidentes laborales, implementando clave cómo capacitación intensiva, monitoreo continuo y optimización de equipos de protección personal (EPP). Esta representación gráfica destaca la brecha crítica que debe cerrarse para prevenir múltiples incidentes, generar ahorros significativos en costos operativos y fortalecer el cumplimiento normativo en la industria. La *figura 9* también advierte sobre las graves consecuencias de la inacción, incluido el aumento anual de accidentes y pérdidas económicas sustanciales.

## Figura 9

*Cuando y cuanto innovar*

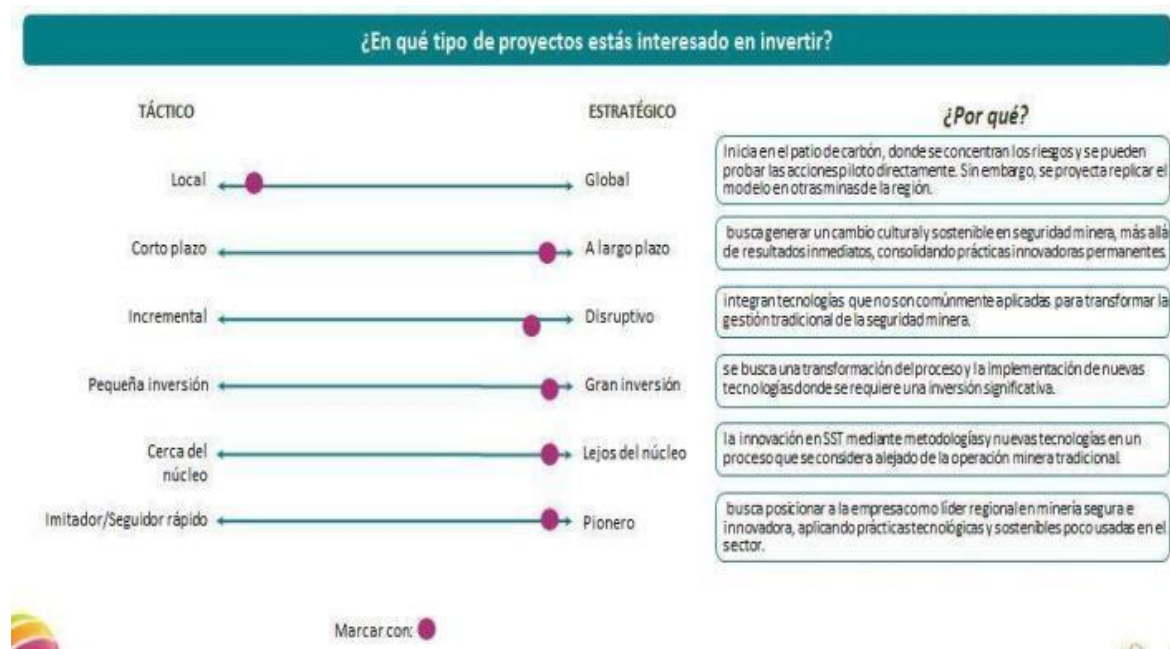


*Nota: Adaptada según metodología GIMI*

La *figura 10* (“Tipos de proyectos para invertir”) clasifica los diferentes tipos de proyectos de inversión según su alcance táctico o estratégico, local o global, temporalidad a corto o largo plazo, naturaleza incremental o disruptiva, y magnitud de inversión pequeña o grande. Esta representación gráfica diferencia claramente estas dimensiones para orientar decisiones de inversión en el sector minero, enfatizando la innovación tecnológica pionera como clave para transformar la seguridad operativa. La *figura 10* posiciona estos proyectos disruptivos como la vía para convertir a la empresa en líder regional de seguridad minera innovadora.

## Figura 10

*Tipos de proyectos para invertir*



*Nota: Adaptada según metodología GIMI*

La *figura 11* (“Insights de oportunidades”) presenta un análisis integral de las fuerzas sociales, tecnológicas, económicas, políticas y ambientales que impactan el sector minero. En

ella se destacan factores clave como la transición energética, la presión regulatoria creciente, la digitalización acelerada, la demanda de prácticas sostenibles, las expectativas sociales elevadas, las alianzas estratégicas en seguridad, la competencia tecnológica intensa y los cambios en las necesidades de los clientes. La *figura 11* identifica estas tendencias como oportunidades críticas para la innovación en seguridad minera.

## Figura 11

### *Insights de oportunidades*



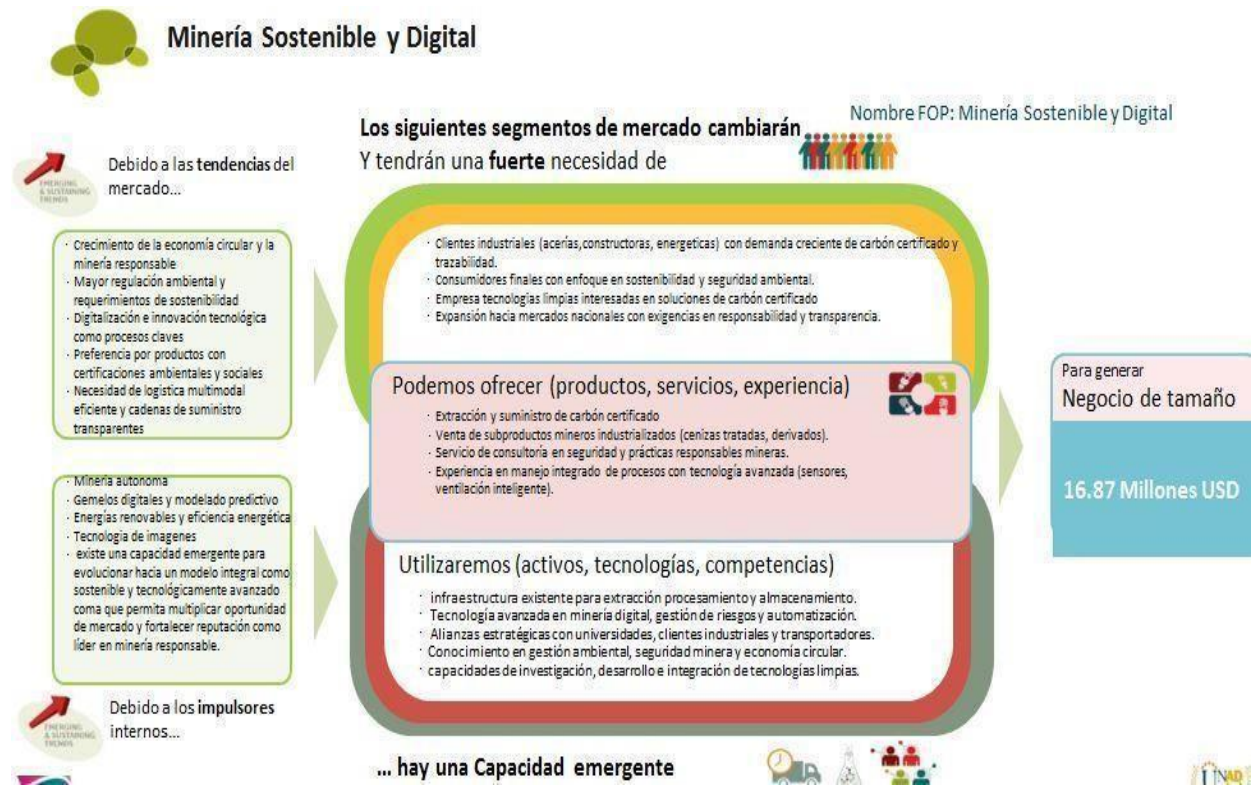
**Nota:** Adaptada según metodología GIMI

La *figura 12* (“Segmento de mercado”) describe la evolución estratégica del sector minero hacia modelos sostenibles y digitales, impulsada por el crecimiento de la economía circular, regulaciones ambientales más estrictas, la acelerada digitalización y la creciente preferencia por certificaciones ambientales y sociales. Esta representación gráfica destaca tecnologías clave como gemelos digitales, energías renovables e imágenes avanzadas que conforman un modelo operativo responsable y de vanguardia. La *figura 12* ilustra cómo estas

tendencias redefinen el segmento de mercado para posicionar a las empresas mineras como líderes en sostenibilidad.

**Figura 12**

*Segmento de mercado*



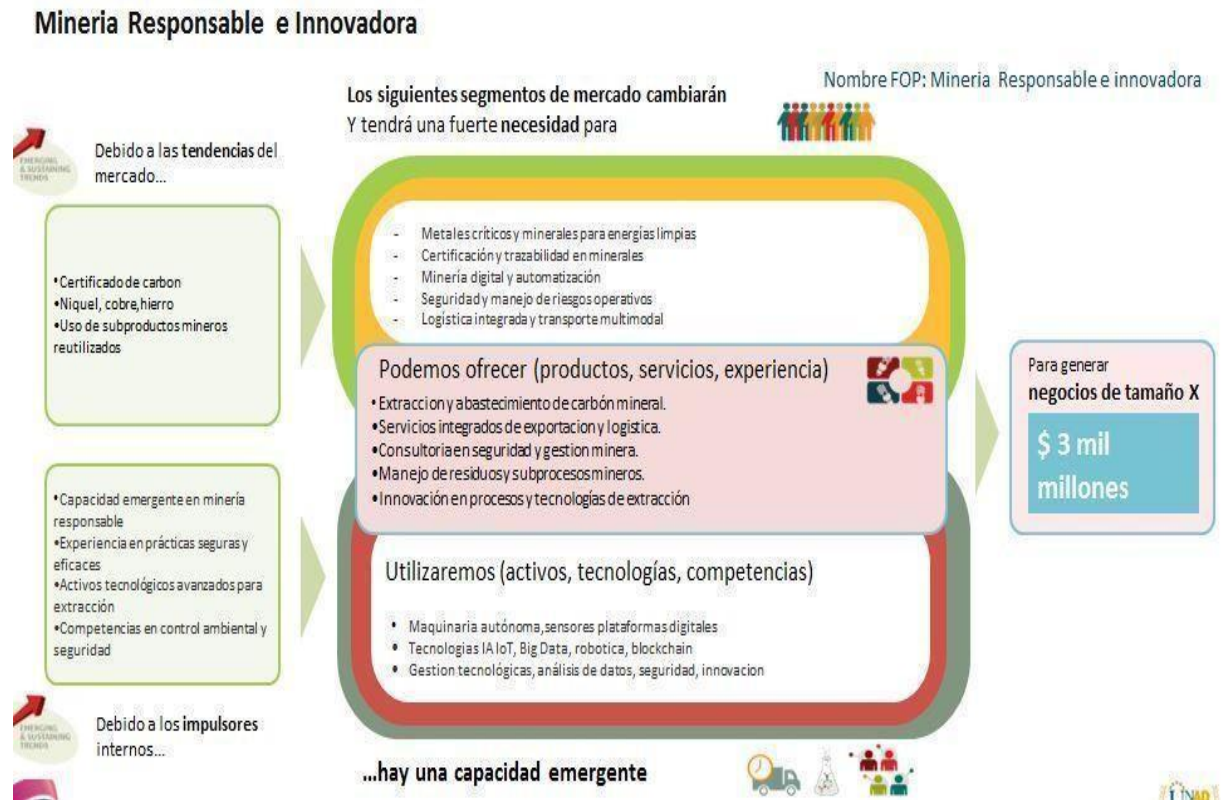
**Nota:** Adaptada según metodología GIMI

La figura 12 (“Segmentos de mercado y capacidades emergentes”) identifica los segmentos de mercado con mayor demanda en el sector minero, como carbón certificado, minerales para energías limpias, minería digital y procesos de automatización. Esta representación gráfica resalta las capacidades clave de la empresa incluyendo experiencia operativa, activos tecnológicos avanzados, competencias especializadas en seguridad y medio ambiente, que permiten ofrecer servicios integrados, consultoría estratégica e innovación

tecnológica. La *figura 13* evidencia el alto potencial de negocio al alinear estas capacidades con las tendencias del mercado.

### Figura 13

#### Segmento de mercado y capacidades emergentes



*Nota: Adaptada según metodología GIMI*

La *figura 13* (“Minería circular y gestión de residuos”) subraya la imperiosa necesidad de implementar estrategias de reutilización, reciclaje, tratamiento avanzado de residuos y principios de economía circular en las operaciones mineras. Esta representación gráfica destaca las competencias clave en innovación ambiental, gestión integral de subprocesos y generación de modelos de negocio sustentables mediante tecnologías limpias. La *figura 14* enfatiza cómo estas prácticas minimizan el impacto ambiental mientras crean oportunidades de valor agregado.

Figura 14

## Minería circular y gestión de residuos



*Nota: Adaptada según metodología GIMI*

La figura 15 (“Mapa de oportunidades”) muestra un mapa estratégico construido a partir de la organización sistemática de ideas en torno a dimensiones clave como mercado, entorno de oferta, producción, modelo de negocios y modelo de ingresos. Esta representación gráfica permite visualizar de manera clara las áreas prioritarias para la innovación y el desarrollo empresarial en el sector minero. La figura 15 facilita la identificación de oportunidades integrales que alinean la capacidad interna con las demandas externas del mercado.

Figura 15

## Mapa de oportunidades

	Empresa Minera	Futuro	Competidores	Adyacencias	Cadena de valor
<b>Mercado</b> Clientes Necesidades Experiencias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Empresas de construcción</li> <li>Comercializadoras de carbón</li> <li>Fundiciones locales</li> <li>Fabricantes industriales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expansión a clientes nacionales e internacionales.</li> <li>Consumidores con enfoque en sostenibilidad.</li> <li>Reputación como empresa minera responsable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grandes mineras con contratos internacionales.</li> <li>Empresas con acceso a clientes industriales más exigentes.</li> <li>Mejor experiencia del cliente: suministro estable y certificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrias energéticas (generación térmica y metalurgia)</li> <li>Empresas de tecnologías limpias interesadas en carbón certificado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compradores industriales (aceras, construcción, energía)</li> <li>Clientes finales que demandan trazabilidad y sostenibilidad.</li> </ul>
<b>Entrega</b> Ocasiones Localidades Canales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transporte por carretera</li> <li>Distribución regional en Boyacá</li> <li>Entregas directas a clientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logística multimodal (carretera+ferrocarril)</li> <li>Contratos de largo plazo con industrias.</li> <li>Comercialización directa con clientes estratégicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distribución directa sin intermediarios.</li> <li>Canales digitales de comercialización y trazabilidad.</li> <li>Uso de transporte multimodal (ferrocarril, marítimo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Venta de subproductos mineros a industrias locales</li> <li>Expansión a nuevos territorios ( otras regiones de Colombia)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intermediarios para mercados regionales y nacionales.</li> <li>Transporte interno (maquinaria, cargue en patio de carbón)</li> </ul>
<b>Oferta</b> Productos Servicios Marcas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbon mineral</li> <li>Extracción y suministro de carbón</li> <li>Minería local responsable y sostenible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbon certificado como sostenible y seguro.</li> <li>Subproductos aprovechados (Cenizas tratadas, derivados).</li> <li>Marca posicionada: "Minería segura y responsable".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amplia variedad de minerales (carbon, níquel, cobre, hierro)</li> <li>Servicios de exportación y logística integrada.</li> <li>Marcas posicionadas como mineras sostenibles y de confianza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de consultoría en seguridad minera ( a futuro)</li> <li>Marca ampliada: " Los Pinos-Minería y soluciones sostenibles"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extracción de carbon mineral como producto principal.</li> <li>Clasificación y acondicionamiento.</li> </ul>
<b>Producción</b> Competencias Activos Tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Experiencia en extracción y manejo de carbón</li> <li>Mano de obra con conocimiento práctico</li> <li>Procesos tradicionales de producción minera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integración de sensores y ventilación inteligente.</li> <li>Procesos productivos seguros y eficientes.</li> <li>Gestión tecnológica de riesgos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologías avanzadas de extracción y refinamiento.</li> <li>Activos de gran escala con mayor inversión en infraestructura.</li> <li>Fuerte inversión en sostenibilidad ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de residuos mineros para nuevos procesos industriales.</li> <li>Adaptación de Know-how para minería mas segura y limpia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extracción, procesamiento y almacenamiento de carbón.</li> <li>Prácticas de gestión ambiental en proceso de fortalecimiento.</li> </ul>
<b>Modelos de Negocio</b> Redes y Aliados Modelos de Precio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redes con transportadores y comercializadoras de carbón</li> <li>Venta directa a precio de mercado</li> <li>Contratos a corto y mediano plazo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participación en programas de minería sostenible.</li> <li>Negocio basado en innovación y responsabilidad social.</li> <li>Modelos de precio diferenciados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alianzas con clientes globales y multinacionales.</li> <li>Contratos a largo plazo con precios preferenciales.</li> <li>Modelos de negocio integrados ( Producción + exportación).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alianzas con cementeras, aceras y energéticas.</li> <li>Vinculación con universidades y centros de investigación.</li> <li>Modelos de negocio circulares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alianzas con proveedores de transporte y EPP.</li> <li>Posibilidad de evolucionar a contratos premium con certificaciones de seguridad y sostenibilidad.</li> </ul>

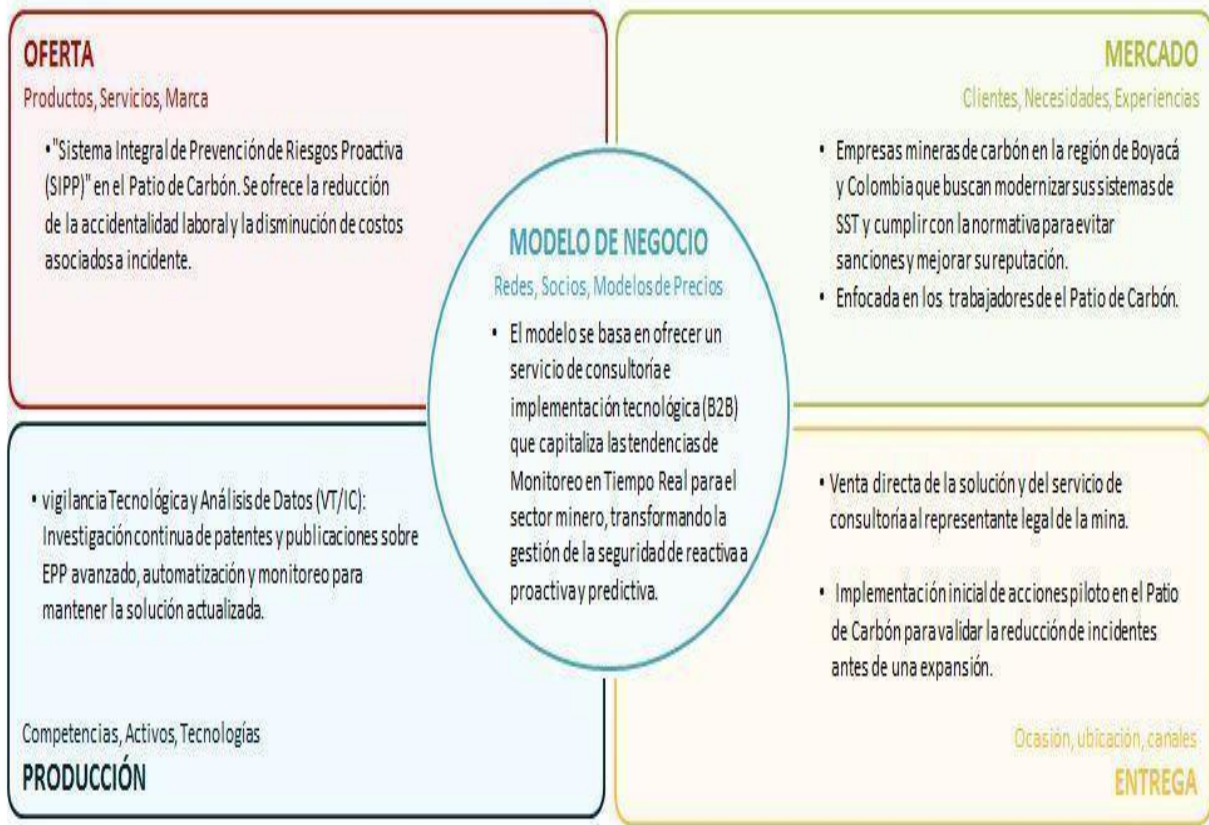
**Nota:** Adaptada según metodología GIMI

La figura 16 (Concepto de negocios) ilustra cómo el sector minero debe articular de manera estratégica recursos internos, capacidades operativas, alianzas colaborativas y dinámicas de mercado para transformar radicalmente la seguridad y salud en el trabajo. Esta representación gráfica enfatiza la integración de innovación tecnológica con principios de sostenibilidad, posicionando estos elementos como motores clave para generar valor agregado y competitividad superior. La figura 16 demuestra la interconexión de estos componentes como base para modelos de negocio diferenciados en minería.

## Figura 16

*Concepto de negocios*

Transformar la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) de la Sociedad Minera. mediante la adopción de tecnologías de vanguardia.



*Nota: Adaptada según metodología GIMI*

La *figura 17* (Brochure conceptual) presenta la introducción visual al folleto conceptual de la solución innovadora propuesta para el sistema inteligente de seguridad minera (SISM). Esta representación gráfica introduce de manera atractiva y sintetizada los elementos clave de la propuesta, facilitando la comprensión inmediata de su valor agregado para la sociedad minera Los Pinos SAS. La *figura 17* sirve como herramienta de comunicación extra técnica para posicionar la innovación en seguridad minera.

### **Figura 17**

*Brochure conceptual*



*Nota: Elaboración propia, concepto clave.*

La *figura 18* (“Brochure conceptual innovación”) **muestra** las diversas opciones estratégicas que se manejan en torno a la innovación para el sistema inteligente de seguridad minera (SISM). Esta representación gráfica presenta alternativas clave de implementación, permitiendo visualizar las posibilidades de aplicación práctica en el contexto de seguridad minera. La *figura 18* facilita la toma de decisiones al exponer opciones diferenciadas para optimizar la innovación en la operación.

### **Figura 18**

*Brochure conceptual innovación*

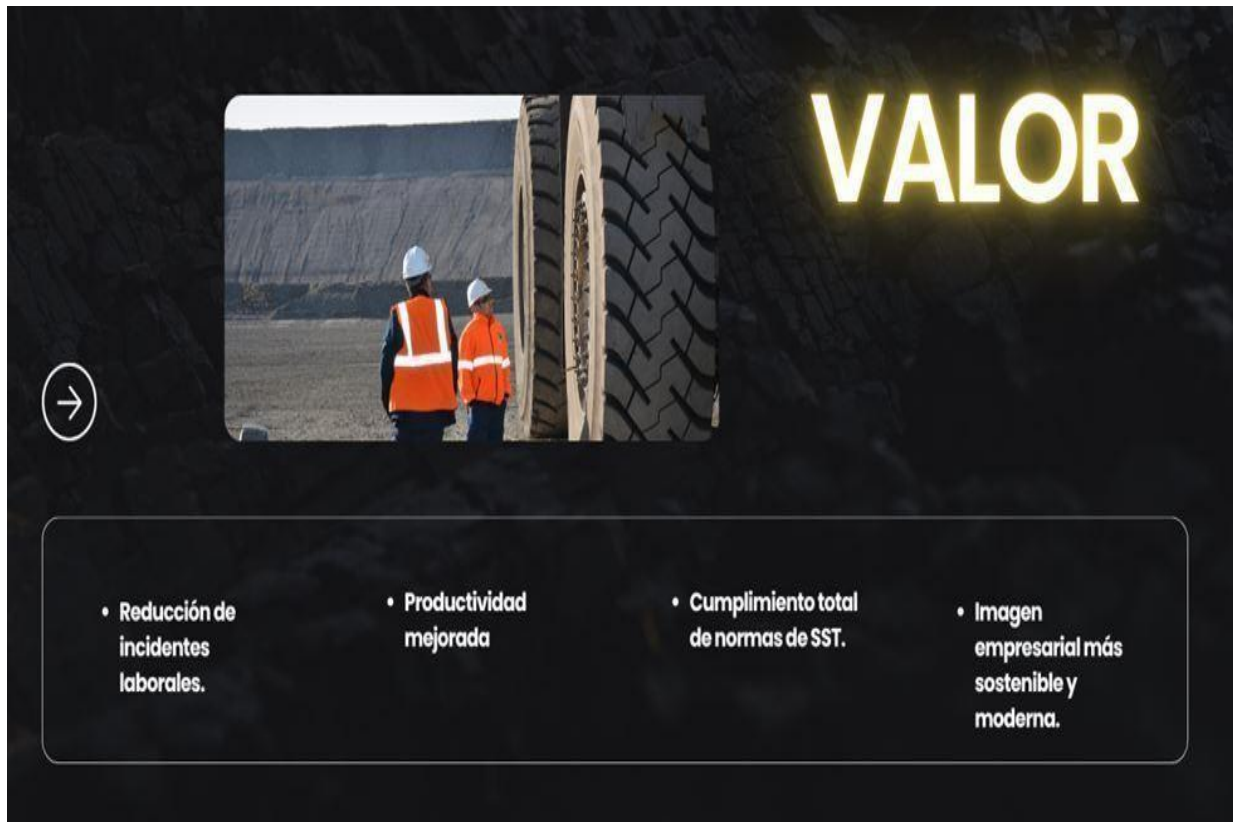


*Nota: Elaboración propia, conceptos de innovación aplicada.*

La *figura 19* (“Brochure conceptual valor”) muestra las diversas opciones estratégicas en torno al concepto de valor agregado que genera el sistema inteligente de seguridad minera (SISM). Esta representación gráfica representa claves alternativas para maximizar el impacto económico, operativo y sostenible de la innovación en seguridad minera. La *figura 19* facilita la comprensión de cómo se crea y captura valor en la propuesta para la sociedad minera Los Pinos S.A.S.

### **Figura 19**

*Brochure conceptual valor*

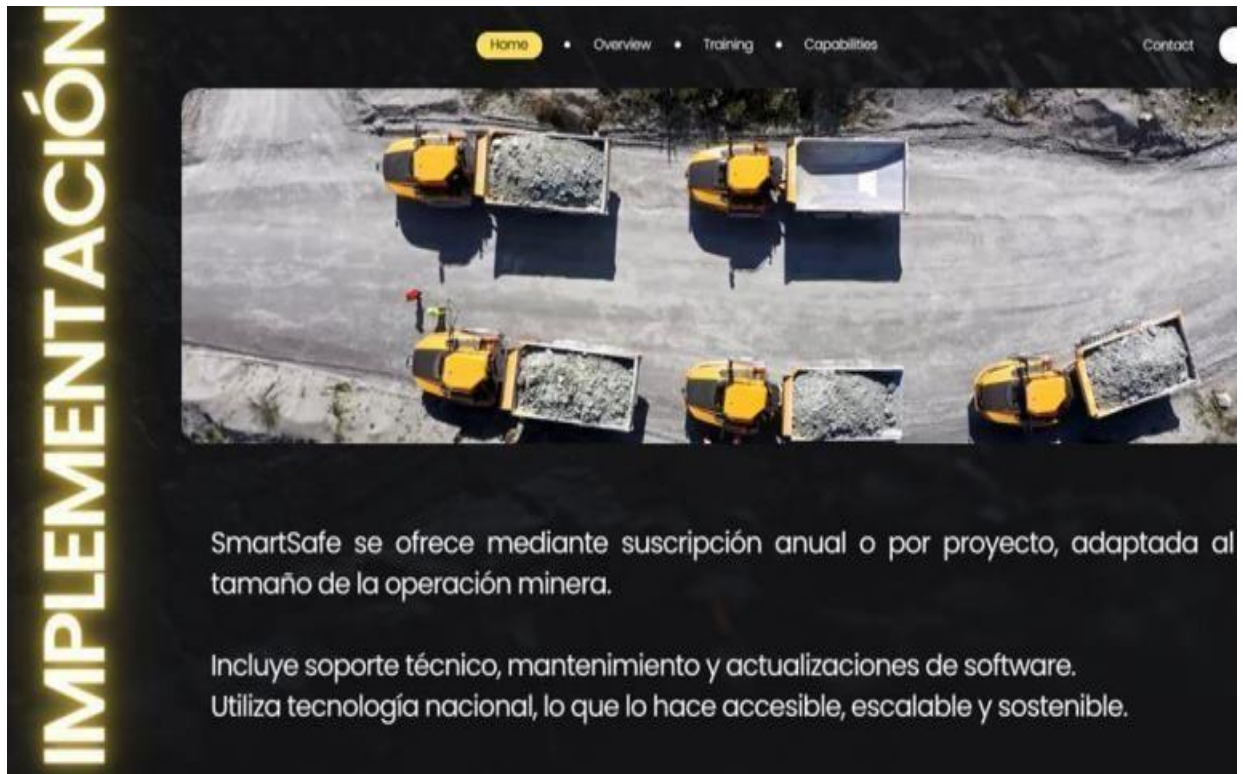


*Nota: Elaboración propia, valor del concepto.*

La *figura 20* (“Brochure conceptual implementación”) muestra los elementos clave que se implementarán mediante el modelo de suscripción del sistema inteligente de seguridad minera (SISM). Esta representación gráfica detalla los componentes operativos, tecnológicos y de servicios que se desplegarán de forma escalable a través de la suscripción facilitando la adopción progresiva en la sociedad minera Los Pinos SAS. La *figura 20* ilustra la estructura práctica de implementación para garantizar sostenibilidad y flexibilidad en la operación minera.

## **Figura 20**

*Brochure conceptual innovación*



**IMPLEMENTACIÓN**

Home • Overview • Training • Capabilities Contact

SmartSafe se ofrece mediante suscripción anual o por proyecto, adaptada al tamaño de la operación minera.

Incluye soporte técnico, mantenimiento y actualizaciones de software.  
Utiliza tecnología nacional, lo que lo hace accesible, escalable y sostenible.

*Nota: Elaboración propia, servicio ofrecido.*

La *figura 21* (“*Brochure conceptual red de innovación*”) muestra la red estratégica de innovación que se implementará con la propuesta del sistema inteligente de seguridad minera (SISM). Esta representación gráfica ilustra las conexiones entre actores clave, tecnologías colaborativas y flujos de conocimiento que conforman un ecosistema integrado para la sociedad minera Los Pinos SAS. La *figura 21* destaca cómo esta red fomenta la creación continua de soluciones innovadoras en seguridad minera.

### **Figura 21**

*Brochure conceptual red de innovación*



*Nota: Elaboración propia, red de innovación.*

La *figura 22* (“Presentación de conceptos de negocio”) muestra la oferta integral de servicios ambientales, la visión institucional estratégica y las principales estrategias de reconversión dónde son las mineras hacia ecosistemas sostenibles. Esta representación gráfica integra estos elementos clave para posicionar la innovación en seguridad minera como parte de un modelo de negocio responsable y transformador. La *figura 22* evidencia cómo la sociedad minera Los Pinos S.A.S puede liderar la transición hacia operaciones ambientales sostenibles.

## **Figura 22**

*Presentación de conceptos de negocio*

<p><b>Escriba un eslogan</b></p>	<p><b>¿Cuál es la visión?</b></p>
<p><b>"Transformamos la huella minera en bienestar sostenible."</b></p> <p>Resume el propósito central: convertir lo que antes era daño ambiental en espacios inteligentes, saludables y regenerativos.</p>	<p>Ser el referente latinoamericano en <b>reconversión de zonas mineras en ecosistemas inteligentes de bienestar</b>, integrando tecnología, naturaleza y desarrollo humano sostenible.</p> <p>Una visión ambiciosa pero alcanzable, con enfoque en innovación, inclusión social y economía verde.</p>
<p><b>¿Qué es la oferta?</b></p>	<p><b>¿Quién lo necesita?</b></p>
<p>Un <b>ecosistema de bienestar regenerativo</b> que transforma terrenos mineros en centros de salud, innovación y biodiversidad.</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rehabilitación personalizada con <b>Inteligencia Artificial</b>.</li> <li>• <b>Turismo corporativo de bienestar</b> y reconexión con la naturaleza.</li> <li>• <b>Programas de reforestación y biodiversidad</b> en alianza con ONGs y gobiernos locales.</li> </ul>	<p><b>Empresas mineras</b> que buscan compensar su impacto ambiental y mejorar su reputación corporativa, <b>gobiernos territoriales</b> interesados en la regeneración de ecosistemas degradados, <b>ONGs ambientales</b> y <b>entidades de bienestar corporativo</b> y <b>comunidades locales</b> afectadas por la actividad minera que requieren nuevas oportunidades sostenibles.</p>
<p><b>¿Cuales son las alternativas y por qué es mejor?</b></p>	<p><b>¿Por qué los competidores no pueden copiarlo?</b></p>
<p>Las alternativas actuales se limitan a proyectos de reforestación o ecoturismo sin integración tecnológica ni social.</p> <p>Nuestro modelo es mejor porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integra <b>salud, tecnología, sostenibilidad y desarrollo humano</b>.</li> <li>• Ofrece <b>resultados medibles</b> mediante IA ambiental y biométrica.</li> <li>• Genera <b>valor social, ambiental y económico</b> de manera simultánea.</li> </ul>	<p>Metodología única que combina <b>IA, biotecnología y gestión ambiental regenerativa</b>.</p> <p>Red de <b>alianzas estratégicas</b> con ONGs, universidades y empresas del sector.</p> <p>Infraestructura modular y adaptable solo disponible bajo nuestro modelo de licenciamiento.</p> <p>Valor intangible basado en <b>confianza comunitaria, bienestar humano y datos ambientales exclusivos</b>.</p>

*Nota: Elaboración propia, conceptos clave de negocio.*

## **Análisis de Tendencias**

De acuerdo con los hallazgos obtenidos en la revisión de tendencias en ciencia y tecnología asociadas al reto de innovación en seguridad y salud en el trabajo (SST) en minería, se evidencia una evolución significativa hacia la automatización, la digitalización y la participación de los trabajadores en los procesos de mejora (López Pinto et al., 2025a). Estas tendencias son especialmente relevantes para la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., considerando las condiciones laborales del patio de carbón, donde se concentran actividades con altos niveles de exposición a riesgos físicos, mecánicos y ambientales.

El análisis de fuentes científicas, técnicas e institucionales muestra que las principales líneas de innovación tecnológica en el sector minero se orientan al uso de inteligencia artificial (IA), sistemas de monitoreo en tiempo real y enfoques participativos de gestión preventiva, los cuales permiten anticipar eventos de riesgo, optimizar los procesos de supervisión y fortalecer la toma de decisiones basada en datos (OCDE, 2018; Dhillon, 2019; Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Asimismo, el avance en tecnologías autónomas representa una oportunidad clave para reducir la exposición directa de los trabajadores a entornos peligrosos, mientras que la Realidad Virtual (RV) y las plataformas de análisis de datos promueven procesos formativos más efectivos, adaptados a las necesidades operativas del sector. Integrar estas innovaciones bajo un enfoque participativo, sostenible y centrado en las personas permitirá disminuir los índices de accidentalidad y fortalecer la competitividad y sostenibilidad empresarial de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.

La revisión conjunta de patentes (Tabla 1.), estudios técnicos y obras académicas confirma que las tendencias en seguridad minera están dirigidas hacia una innovación

tecnológica y metodológica integral, que combina la automatización, la inteligencia de datos y la cultura preventiva. A partir de ello, se identifican tres oportunidades estratégicas para la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.:

Reducir la accidentalidad laboral, mediante la adopción de sensores inteligentes, sistemas de ventilación automatizada y equipos de protección personal (EPP) de última generación.

Consolidarse como un referente regional, implementando soluciones de seguridad respaldadas por la ciencia, la tecnología y la innovación.

Fortalecer su reputación y competitividad, alineando sus prácticas con los estándares internacionales de minería segura, sostenible y digitalizada.

En conclusión, las tendencias actuales en ciencia y tecnología aplicadas a la seguridad minera brindan un marco de acción sólido para que la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. avance hacia un modelo de gestión preventiva inteligente, basado en la automatización responsable y la innovación continua, en coherencia con los principios de la Industria 4.0 y la Política Nacional de Seguridad Minera.

La *Tabla 2* (“Bitácora de búsqueda de patentes”) resume el proceso vigilancia tecnológica realizado para el proyecto SISM, incluyendo palabras clave, bases consultadas, criterios filtrados, fechas de consulta y resultados relevantes por sesión de búsqueda. Esta síntesis permite rastrear la trazabilidad meteorológica y justificar la selección de documentos priorizados para análisis técnico y de patente habilidad conforme a buenas prácticas de VT/IC utilizadas en el proyecto.

## **Tabla 2**

*Bitácora de búsqueda de patentes*

1. No	2. Fecha de búsqueda	3. Palabras clave de búsqueda	4. Base de datos de Búsqueda	5. Número de resultados	6. Principales hallazgos	7. Relevancia para el proyecto
1	45918	coal Mine Safety service	<a href="https://www.lens.org/">https://www.lens.org/</a>	4,713	Según la investigación nos muestra una tendencia de crecimiento constante, especialmente en los últimos seis años. China y Estados Unidos son los países más prolíficos en esta área.	La seguridad y salud minera está impulsada por la necesidad de reducir riesgos catastróficos. la tecnología está migrando desde soluciones hacia sistemas proactivos basados en la prevención.

2	45918	Working conditio ns in mines	<a href="https://www.lens.org/">https://ww w.lens.org /</a>	7,375	Según los resultados relacionados desde el año 1897 hasta 2026 el análisis por años revela un crecimiento significativo en la cantidad de publicaciones, en años recientes (2020-2025) es donde se registra un máximo con picos que superan los 600 documentos anuales. El incremento en las publicaciones refleja mayor preocupación sobre la seguridad, salud ocupacional, aspectos sociales y ambientales en el sector minero.	Es una relevancia alta ya que gracias a los hallazgos sobre las condiciones de trabajo en las minas el volumen, la antigüedad y el aumento de documentos relacionados con las condiciones de trabajo en minas reflejan que es un área muy relevante y actual con abundante insumo académico disponible para el análisis desarrollo y sustentación de propuestas y conclusiones para el proyecto. Ya que permite identificar buenas prácticas, riesgos persistentes y tendencias innovadoras en el manejo de condiciones laborales en la minería.
---	-------	---------------------------------------	---	-------	---	--

3	45919	Mine Ventilati on Systems	<a href="https://www.lens.org/lens/search/patent/list?q=Mine%20ventilation%20systems">https://www.lens.org/lens/search/patent/list?q=Mine%20ventilation%20systems</a>	8,826	<p>Se observa un crecimiento sostenido de registros en minería en los últimos años, con picos en áreas específicas como procesamiento de minerales y automatización. Estados Unidos, China y Australia concentran la mayor parte de las patentes. (Figura 2. Evolución de patentes. Fuente propia)</p> <p>En Latinoamérica hay presencia incipiente, pero no dominante. Universidades y centros de investigación aparecen vinculados en clusters de innovación, aunque en menor volumen que las empresas privadas. Destacan grandes compañías mineras y de maquinaria como Caterpillar, Komatsu, NEO IP, entre otras.</p>	<p>El análisis de patentes refuerza que nuestro proyecto no solo responde a una necesidad local en este caso la seguridad de los 17 trabajadores de este patio, sino que también se alinea con tendencias globales de minería inteligente y segura, lo que puede posicionar a Los Pinos S.A.S como referente en Boyacá y abrirle puertas a certificaciones y ventajas competitivas.</p>
---	-------	------------------------------------	---	-------	---	---

4	45926	Environ mental monitori ng in mining	<a href="https://www.lens.org/">https://ww w.lens.org /</a>	7,456	<p>Monitoreo en tiempo real: Las patentes revisadas muestran un fuerte interés en sistemas de sensores inalámbricos que recopilan datos de gases, partículas de polvo, temperatura, humedad y otros factores críticos dentro de minas subterráneas y a cielo abierto. (Figura 3. Temáticas. Fuente propia)</p> <p>Uso de tecnologías emergentes: Se destacan invenciones que integran redes de sensores IoT, transmisión inalámbrica, almacenamiento en la nube y análisis de datos en tiempo real para anticipar riesgos ambientales y laborales.</p> <p>Integración con seguridad y salud ocupacional: Estas innovaciones están directamente ligadas a la reducción de riesgos laborales en minería, pues ofrecen alertas tempranas que protegen la vida de los trabajadores y ayudan al</p>	<p>Alineación con el reto de innovación: El uso de estas tecnologías puede servir de base para la propuesta del grupo, ya que contribuyen a mejorar las condiciones laborales en el sector minero, garantizando tanto la seguridad de los trabajadores como la sostenibilidad ambiental.</p> <p>Potencial de adaptación en Colombia: Muchas de las soluciones patentadas son globales, pero podrían adaptarse al contexto del sector minero colombiano, donde la seguridad y la vigilancia ambiental son desafíos prioritarios.</p> <p>Valor agregado en innovación: El análisis de estas patentes evidencia que no basta con recopilar información, sino que el verdadero diferencial está en gestionar los datos para la toma de decisiones inteligentes. Allí es donde entran en juego la Inteligencia de Negocios, la Vigilancia Tecnológica y la Inteligencia Competitiva, conceptos centrales del proyecto.</p> <p>Inspiración para soluciones disruptivas: Al conocer lo que ya</p>
---	-------	--	---	-------	--	--

---

cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad. Prevención proactiva: Varias patentes no solo se limitan a medir condiciones, sino que incorporan algoritmos predictivos que permiten anticipar riesgos (ej. acumulación de gases o concentración de polvo) y activar sistemas de ventilación o supresión de polvo antes de que los niveles sean críticos. (Figura 1. Incremento en el uso de IoT y redes de sensores para vigilancia en tiempo real. Fuente. Analytics Research )

existe, el grupo puede identificar vacíos tecnológicos (ej. costos de implementación, conectividad en zonas remotas, mantenimiento de sensores) y proponer alternativas innovadoras que se ajusten mejor al contexto local.

---

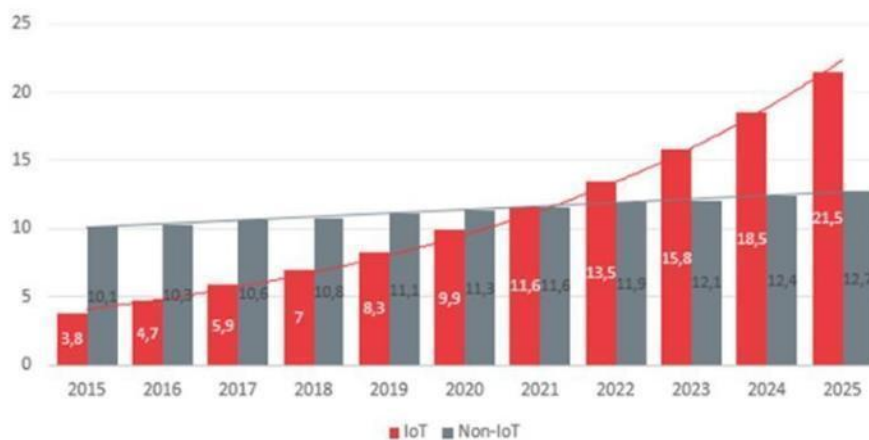
*Nota: Estructura sugerida para registrar la vigilancia tecnológica de patentes: fecha, fuente, estrategia de búsqueda (palabras clave y filtros) volumen de resultados, preselección y comentarios metodológicos. Este registro soporta la trazabilidad y futuras réplicas del proceso en el proyecto SISM.*

La figura 23 (“Incremento en el uso de IoT y redes de sensores para vigilancia en tiempo real”) representa el crecimiento exponencial en la adopción de tecnologías IoT y redes de sensores en el sector minero con proyecciones de dispositivos conectados que alcanzan millas de millones de unidades en los próximos años. Esta tendencia refleja la transformación digital hacia

sistemas de monitoreo continuo que mejoran la seguridad operativa, detectan riesgos en tiempo real y optimizan la productividad en entornos de alta accidentabilidad como los patios de carbón. La *figura 23* sustenta la relevancia del sistema inteligente de seguridad minera (SISM) para la sociedad minera Los Pinos SAS, alineándose con estándares globales de innovación tecnológica.

### Figura 23

*Incremento en el uso de IoT y redes de sensores para vigilancia en tiempo real*

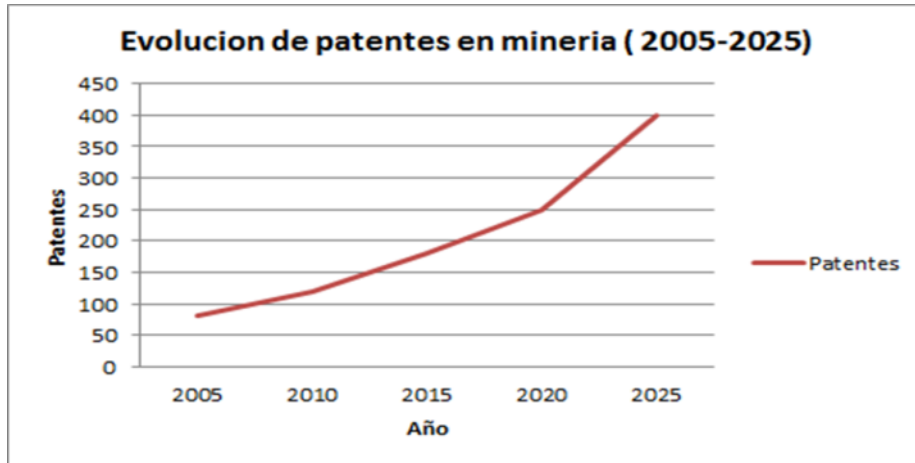


*Nota. Fuente: Analytics Research*

La *figura 24* (“Evolución de patentes”) representa la tendencia creciente en el registro de patentes relacionadas con tecnologías de seguridad minera entre los años 2005 y 2025, evidenciando la aceleración de la innovación tecnológica en el sector. Esta evolución gráfica muestra un incremento sostenido en solicitudes y concesiones, particularmente en áreas como IoT, sensores inteligentes y sistemas de monitoreo predictivo que responden a la demanda global por mayor seguridad operativa. La *figura 24* justifica la vigilancia tecnológica continua realizada en el proyecto SISM para posicionar a la sociedad minera Los Pinos SAS a la vanguardia de estas tendencias.

### Figura 24

*Evolución de patentes*

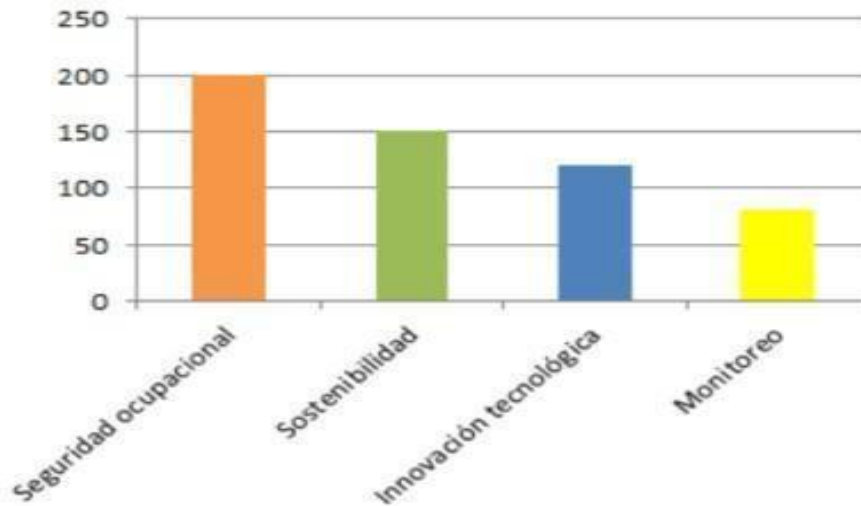


*Nota: elaboración propia.*

La *figura 25* (“Temáticas”) muestra las temáticas más frecuentes identificadas en obras académicas relacionadas con seguridad minera entre 2005 y 2025, destacando áreas prioritarias como gestión de riesgos laborales, monitoreo en tiempo real, normativas SST, prevención de accidentes y sostenibilidad operativa. Esta distribución temática evidencia la evolución del conocimiento científico hacia enfoques integrales que combinan tecnología digital, cultura preventiva y cumplimiento regulatorio, alineados con los restos del sector. La *figura 25* sustenta la relevancia del proyecto SISM al conectar la vigilancia académica con oportunidades de innovación práctica para la sociedad minera Los Pinos SAS.

## **Figura 25**

*Temáticas*



*Nota: Elaboración propia.*

Los hallazgos sobre las tendencias en ciencia y tecnología evidencian que la minería avanza hacia entornos laborales más seguros mediante la automatización, la incorporación de sensores, la mejora en los equipos de protección personal y la aplicación de metodologías innovadoras orientadas a la prevención de riesgos. Esta evolución se relaciona directamente con el desafío identificado en la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S., al demostrar que la reducción de la accidentalidad en el patio de carbón no solo es alcanzable, sino que también representa una oportunidad estratégica para consolidar a la empresa como referente regional en minería segura, responsable y tecnológicamente avanzada.

### **Aplicación de la Metodología Design Thinking.**

Resultados de Design Thinking desarrollo práctico del proyecto, desde la comprensión profunda del usuario hasta la validación de la solución. Se ejecutaron las siguientes etapas:

#### **Empatizar**

Por medio de entrevistas a clientes estratégicos en distintos sectores, observación de campo y análisis documental, se identifican las oportunidades de mejora.

Entrevistado: Juan Estepa Pérez

Cargo: Supervisor minero

CC: 9395013

### **Piensa y siente**

¿Cuáles son tus mayores preocupaciones o miedos en el trabajo diario?

Me preocupa mi seguridad y la de mis compañeros.

¿Qué te motiva a seguir trabajando en esta mina?

Trabajo duro para mantener a mi familia, aunque a veces siento miedo.

¿Cómo te sientes respecto a la seguridad y condiciones laborales?

Espero que la empresa mejore las condiciones y nos valore más.

¿Cuáles son tus expectativas para el futuro en tu trabajo?

Quisiera mejoras y mayor reconocimiento.

### **Dice y hace**

¿Qué comentas con tus compañeros sobre los retos o dificultades en la mina?

Hablo con mis compañeros sobre los riesgos diarios y cómo evitarlos.

¿Cómo manejas los problemas o riesgos durante tu jornada laboral?

Siempre uso mi equipo de protección, aunque algunas veces faltan implementos.

¿Qué acciones realizas para proteger tu salud y seguridad?

Intento estar atento a las señales y seguir todas las reglas de seguridad.

### **Ve**

¿Qué condiciones observas en el ambiente de trabajo (herramientas, maquinaria, instalaciones)?

La maquinaria está algo obsoleta y a veces peligrosa.

¿Qué cambios has notado en la mina en los últimos años?

Los túneles están húmedos y el ambiente es pesado.

¿Cómo son las relaciones entre los trabajadores y la dirección?

Existe una relación tensa entre trabajadores y supervisores.

### **Escucha**

¿Qué te dicen los supervisores o líderes sobre tu trabajo y seguridad? Los líderes nos recuerdan seguir protocolos, pero no siempre hay tiempo para todo.

¿Qué recomendaciones o advertencias escuchas de compañeros experimentados?

Los compañeros más experimentados alertan sobre zonas peligrosas.

¿Cómo reciben la información oficial sobre procedimientos o cambios?

A veces la información oficial llega tarde o es confusa

### **Molestias**

¿Cuáles son los principales riesgos a los que te enfrentas en la mina?

El riesgo de accidentes y enfermedades es constante.

¿Qué dificulta tu desempeño o bienestar durante la jornada?

La falta de comunicación clara afecta nuestro desempeño.

¿Qué problemas no se han resuelto o ignorados?

Condiciones incómodas como polvo, ruido y calor extremo.

### **Necesidades**

¿Qué mejoras crees que deberían implementarse para facilitar tu trabajo?

Más equipos de protección y capacitación continúan

¿Qué recursos o apoyos te gustaría tener para sentirte más seguro?

Mejores canales de comunicación con supervisores

¿Cómo impactaría positivamente tu vida laboral y personal si esas mejoras existieran?

Reconocimiento y apoyo para mejorar la calidad de vida laboral.

La *Tabla 3* (“Tabla empatía”) sintetiza los insights claves obtenidos durante la fase de empatizar del Design Thinking aplicado al sistema inteligente de seguridad minera (SISM), capturando qué piensan y sienten, que ven, que oyen y qué dicen/hacen los trabajadores mineros en el patio de carbón de la sociedad minera Los Pinos SAS. Esta matriz empatía revela dolores operativos como fatiga por turnos largos, miedos a colapsos y gases tóxicos, así como oportunidades para soluciones tecnológicas centradas en el usuario. La *Tabla 3* establece la base humana para definir problemas precisos y diseñar intervenciones innovadoras en seguridad.

### **Tabla 3**

#### *Tabla de empatía*

Aspecto	Contenido
Piensa y siente	Seguridad, miedos, motivación para mantener familia, deseos de mejora.
Dice y Hace	Compartir riesgos, uso de protección, cumplimiento de normas.
Ve	Equipos antiguos, ambientes hostiles, relaciones tensas.
Escucha	Reglas de seguridad, consejos, alertas
Molestias	Accidentes, comunicación deficiente, condiciones ambientales duras.
Necesidades	Equipamiento, formación, apoyo y reconocimiento.

*Nota: elaboración propia en base a observaciones y entrevistas de la fase de empatizar.*

La *figura 26* (“Mapa De Empatía”) representa la herramienta visual central de la fase empatizar en Design Thinking para el sistema inteligente de seguridad minera (SISM),

organizando insights de sobre los trabajadores mineros en cuadrantes clave. Qué piensan y sienten, que ven, que oyen, qué dicen y hacen, y dolores/ ganancias. Esta síntesis revela frustraciones por EPPs incómodos, miedos a riesgos invisibles como gases tóxicos y oportunidades para monitoreo predictivo centrado en el usuario. La *figura 26* transforma observaciones cualitativas en base estratégica para definir problemas precisos en seguridad minera.

**Figura 26**

*Mapa de empatía*



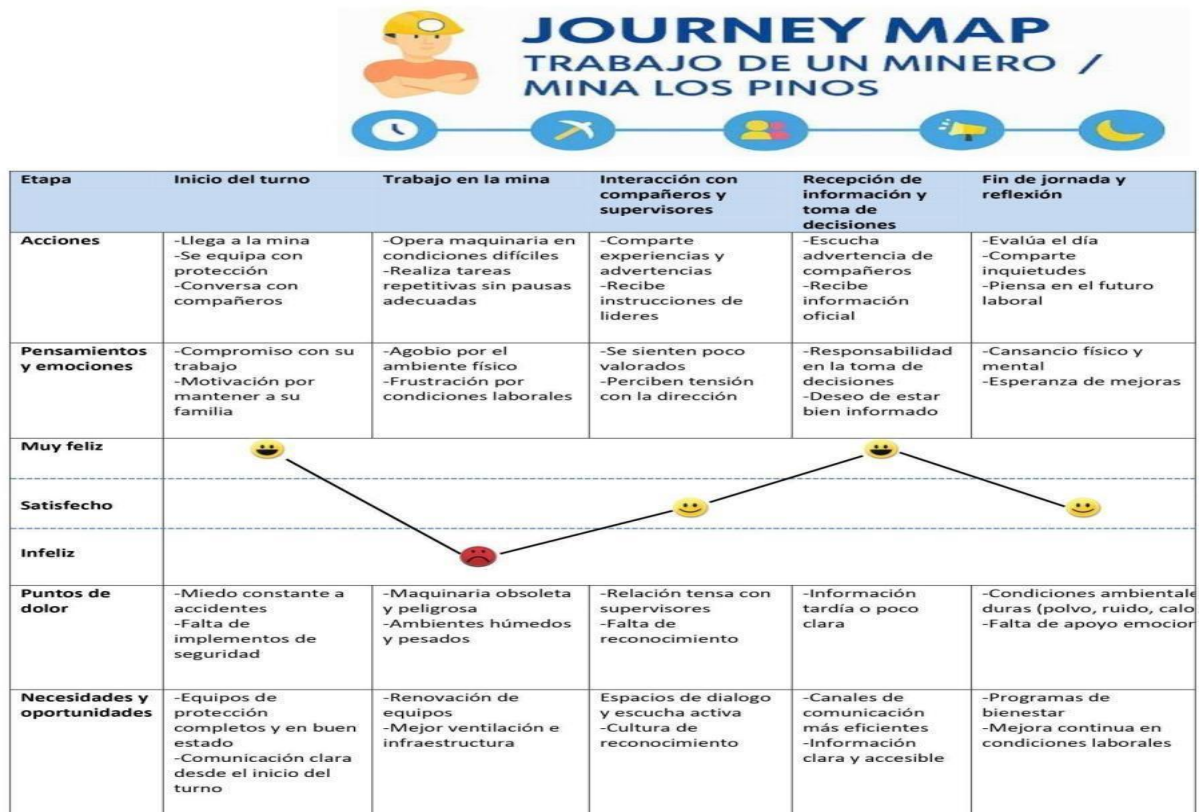
*Nota: elaboración propia.*

La *figura 27* (“Journey map”) presenta el recorrido completo del trabajador minero a través de un turno típico en el patio de carbón de la sociedad minera Los Pinos as com mapeando etapas desde la llegada hasta la salida, junto con emociones puntos de dolor como

exposición a gases tóxicos sin alerta temprana y oportunidades de touchpoints tecnológicos. Esta herramienta de design thinking visualiza picos de estrés en manipulación de materiales y valles de confianza por falta de monitoreo predictivo, identificando momentos críticos para intervenciones del SISM. La *figura 27* transforma experiencias cualitativas en insights accionables para priorizar soluciones centradas en el usuario.

**Figura 27**

*Journey map*



*Nota: elaboración propia.*

**Definir**

**Herramienta: Check List de lectura crítica**

**Contexto: Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.**

**Tema central:** Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)

**Propósito:** Analizar de forma crítica la información recolectada en la fase de empatía para identificar el problema raíz y formular el reto de innovación.

La *Tabla 4* (“Check List de lectura crítica”) presenta el instrumento estructurado utilizado para evaluar sistemáticamente los documentos priorizados de la vigilancia tecnológica y académica en el proyecto SISM, aplicando criterios como relevancia temática, novedad tecnológica, aplicabilidad minera, rigor metodológico y potencial de transferencia. Esta matriz facilita la selección objetiva de patentes y publicaciones que sustentan la innovación en seguridad, filtrando información por validez científica y alineación estratégica con los retos de la sociedad minera Los Pinos SAS. La *Tabla 4* garantiza trazabilidad y calidad en el proceso de revisión crítica.

#### **Tabla 4**

##### *Check List de lectura crítica*

Criterio de análisis	Preguntas de lectura crítica	Respuestas analíticas (caso Mina Los Pinos)
1. Contexto general	¿Cuál es la situación actual relacionada con la Seguridad y Salud en el Trabajo?	La empresa cumple con los requerimientos legales del SG-SST, pero enfrenta altos riesgos laborales por exposición a polvo, gases y derrumbes. Los procesos son manuales, existe falta de comunicación efectiva y una cultura preventiva débil.

2. Evidencia empírica	¿Qué información obtenida de los trabajadores respalda la existencia del problema?	En el mapa de empatía y entrevistas, los trabajadores manifestaron miedo constante a los accidentes, falta de EPP completo, condiciones duras (ruido, humedad, calor) y poca valoración de su esfuerzo. El journey map muestra frustración y agotamiento a lo largo de la jornada.
3. Factores causales	¿Qué elementos originan o agravan la problemática?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escasa innovación tecnológica (sin sensores o monitoreo digital).</li> <li>- Comunicación tardía entre líderes y operarios.</li> <li>- Capacitación esporádica sin seguimiento.</li> <li>- Falta de incentivos al autocuidado.</li> <li>- Registro manual de incidentes y controles.</li> <li>- Riesgo permanente de accidentes y enfermedades.</li> <li>- Pérdida de eficiencia en los controles del SG-SST.</li> <li>- Desmotivación laboral y desconfianza hacia la gestión de seguridad.</li> <li>- Dificultad para demostrar trazabilidad ante entes de control.</li> </ul>
4. Impacto del problema	¿Qué consecuencias genera esta situación?	

5. Grado de prioridad	¿Por qué este problema requiere intervención inmediata?	La minería es una actividad de alto riesgo y la ausencia de herramientas digitales de seguimiento pone en peligro la vida y bienestar de los trabajadores, además de la reputación y cumplimiento legal de la empresa.
6. Perspectiva del usuario (insight)	¿Qué revelan los trabajadores más allá de lo evidente?	El trabajador no rechaza las normas de seguridad, sino que carece de medios y reconocimiento para cumplirlas adecuadamente. Desea tecnología útil, comunicación efectiva y cultura de cuidado compartido.
7. Oportunidades identificadas	¿Qué aspectos podrían transformarse mediante innovación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digitalización del SG-SST.</li> <li>- Implementación de una app para reportes y capacitaciones.</li> <li>- Integración de sensores o alertas de riesgo.</li> <li>- Programas de reconocimiento y autocuidado.</li> </ul>
8. Recursos o fortalezas disponibles	¿Qué puede aprovechar la empresa para resolver el problema?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compromiso gerencial con la seguridad.</li> <li>- Fundación Cascos de Colores como aliado formativo.</li> <li>- Buen clima laboral y disposición al cambio.</li> <li>- Experiencia en cumplimiento normativo.</li> </ul>

9. Pregunta orientadora (How Might We?)	¿Cómo podríamos transformar el problema en una oportunidad de innovación?	¿Cómo podríamos fortalecer la cultura preventiva y mejorar la trazabilidad del SG-SST mediante una solución digital participativa que promueva el autocuidado y la comunicación efectiva en la mina Los Pinos?
10. Síntesis final o resultado de la fase	¿Qué problema definido y enfoque de solución se obtuvo?	Se define como problema central: “La débil cultura preventiva y la falta de herramientas digitales que garanticen una gestión eficiente de la Seguridad y Salud en el Trabajo en la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.”.En consecuencia, el enfoque de innovación se centrará en diseñar un prototipo tecnológico (app o sistema digital) que permita registrar, comunicar y fortalecer las acciones de seguridad minera en tiempo real.

---

*Nota: Elaboración propia adaptada de guías para proyectos de innovación minera.*

El análisis crítico de la información recolectada evidencia que el principal desafío de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. no radica únicamente en el incumplimiento de protocolos, sino en la ausencia de un sistema digital de comunicación, seguimiento y cultura preventiva que involucra activamente a todos los trabajadores.

### **Idear**

La *figura 28* (“Mapa de la propuesta de valor”) representa la estructura estratégica del sistema inteligente de seguridad minera (SISM), alineando beneficios clave como reducción del

30% en accidentabilidad, ahorros operativos y cumplimiento normativo con los segmentos de clientes trabajadores, gerencia y reguladores y sus trabajos prioritarios. Este lienzo visualiza canales de implementación suscripción lot flujos de ingresos recurrentes y relación con capacidades únicas como monitoreo predictivo y Design thinking aplicado. La *figura 28* posicional SISM como solución diferenciada que genera valor sostenible para la sociedad minera Los Pinos SAS.

## Figura 28

### Mapa de propuesta de valor



*Nota: Elaboración propia*

La *figura 29* ("Scamper") representa la aplicación de la técnica del scamper en la fase de ideación del Design Thinking para el sistema inteligente de seguridad minera SISM), estructurando 7 estrategias creativas (sustituir, combinar, adaptar, modificar, proponer otros usos, eliminar, reorganizar). Aplicadas a desafíos de seguridad en el patio de carbón. Esta herramienta genera ideas innovadoras cómo sustituir EPPs tradicionales, combinando sensores con IA predictiva o eliminar procesos manuales de inspección transformando limitaciones operativas en soluciones diferenciadas. La *figura 29* sistematiza la divergencia creativa para priorizar prototipos viables en la sociedad minera los pinos SAS.

Figura 29

Scamper

## SOCIEDAD MINERA LOS PINOS S.A.S

Central Product Focus

	PRODUCT NAME
What product or feature are you focusing on for innovation?	Sociedad minera LOS PINOS S.A.S enfrenta el desafío de reducir la accidentabilidad laboral en su patio de carbón, donde actualmente laboran 17 trabajadores.  La innovación, apoyada en metodologías como Design Thinking y la gestión de la innovación propuesta por el Global Innovation Management Institute (GIMI), se convierte en una herramienta estratégica para generar soluciones que respondan a las necesidades de prevención, disminuyan riesgos y aporten valor a la organización.
Describe the core function of your product.	Explorar oportunidades de innovación en seguridad y salud en el trabajo en el patio de carbón de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S, con el fin de reducir la accidentabilidad laboral y contribuir al fortalecimiento de la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

SCAMPER Model

S	<b>SUSTITUIR</b> What elements of your service can be replaced? ¿Que se podría automatizar? Implementar sensores inteligentes de gases y ventilación automática en el Patio de Carbón en vez del monitoreo manual.	Actividades propuestas -	Investigar tecnologías de sensores. - Seleccionar proveedores. - Plan piloto de instalación.
C	<b>COMBINE</b> What functions, features, or product lines can be combined to create something new? Integrar monitoreo en tiempo real con análisis predictivo para anticipar accidentes y optimizar mantenimiento.	Actividades propuestas -	Desarrollar sistema integrado. - Capacitar equipo en análisis de datos. - Prueba de funcionalidad.
A	<b>ADAPT</b> How can the product be adapted for different markets, uses, or needs? Aplicar modelos circulares usando cenizas tratadas para fabricar materiales de construcción ecológicos.	Actividades propuestas -	-Identificar aplicaciones industriales. - Contactar aliados industriales. - Prototipo de producto.
M	<b>MODIFY</b> What aspects of the product can be magnified or minimized? Mejorar transporte usando ferrocarril y marítimo junto con distribución por carretera para reducir huella y costos.	Actividades propuestas -	- Diseñar plan logístico multimodal. - Negociar con transportistas. - Implementar rutinas de seguimiento.
P	<b>PUT TO ANOTHER USE</b> Can the product be used for purposes other than its original intention? Usar residuos mineros para producción de energía limpia o bioproductos mediante biotecnología.	Actividades propuestas -	- Investigar tecnologías aplicables. - Alianzas con centros de investigación. - Ensayos preliminares.
E	<b>ELIMINATE</b> What features, parts, or complexities can be removed to streamline the product? Suprimir intermediarios regionales para venta directa digitalizada con trazabilidad blockchain.	Actividades propuestas -	- Desarrollar canal digital. - Implementar sistema blockchain. - Capacitación comercial.
R	<b>REORGANIZAR</b> What if we reversed the product's function or the way it's used? What if it did the opposite? Fortalecer la red estratégica incluyendo ONGs, universidades y proveedores de EPP para innovación en SST.	Actividades propuestas -	- Mapear actores clave. - Establecer acuerdos de cooperación. - Organizar talleres conjuntos.

*Nota: elaboración propia.*

## Prototipar

**WHY** ¿Por qué? (Objetivo/Meta del negocio).

Reducir la accidentalidad laboral en el patio de carbón de la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S. para:

Fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

Disminuir los costos derivados de incidentes laborales.

Posicionar a la empresa como un referente en minería segura y responsable en Boyacá.

**WHO** ¿Quién? (Actores involucrados).

**Empleados/Operarios:** trabajadores del patio de carbón (son los directamente afectados por la seguridad).

**Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.:** La organización que busca innovar y mejorar su seguridad.

**Equipo de Investigación:** Los responsables de proponer y desarrollar las estrategias de innovación.

**HOW** ¿Cómo? (Cambios de comportamiento/Acciones que generan impacto).

El impacto deseado se logra mediante la implementación de un proceso de innovación en SST que cambia las prácticas actuales, incluyendo:

Apropiación de conceptos clave y exploración de tecnologías en SST.

Desarrollo de un proceso de innovación basado en metodologías como Design Thinking y el modelo GIMI.

Adopción de nuevas tecnologías identificadas mediante Vigilancia Tecnológica.

Implementación de acciones piloto, como un programa integral de capacitación en riesgos de derrumbes y un sistema de monitoreo de calidad del aire.

**WHAT** ¿Qué? (Resultados/Entregables específicos).

**Productos/Servicios:** Una propuesta de innovación de productos y/o servicios para potencializar la generación de valor en la organización.

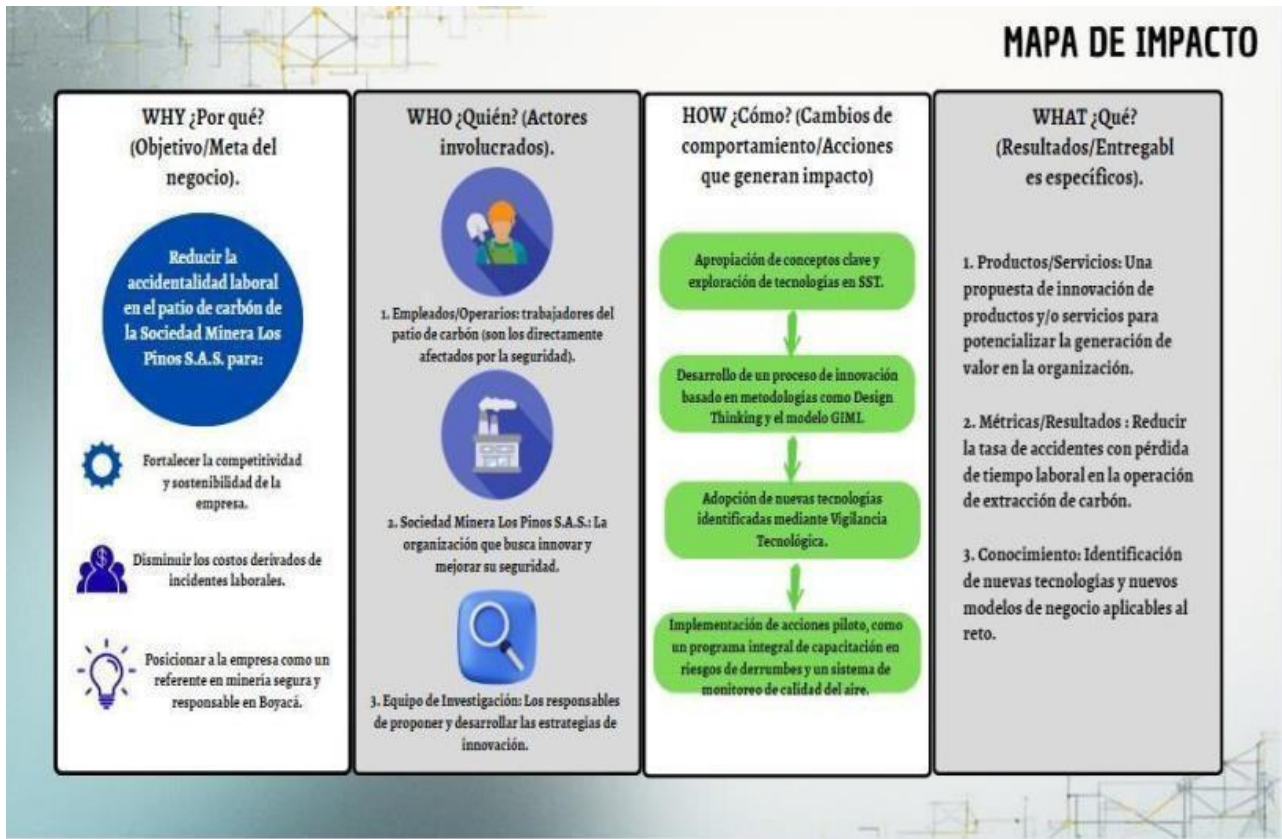
**Métricas/Resultados:** Reducir la tasa de accidentes con pérdida de tiempo laboral en la operación de extracción de carbón.

**Conocimiento:** Identificación de nuevas tecnologías y modelos de negocio aplicables al reto.

La *figura 30* (“Mapa de impacto”) representa la evaluación multidimensional de sistema inteligente de seguridad minera (SISM), cuantificando impactos esperados en dimensiones claves como reducción de accidentabilidad (-30%), ahorros económicos (retorno ROI 18 meses), mejora en cumplimiento normativo (100% trazabilidad), sostenibilidad ambiental (reducción de emisiones 15%) y posicionamiento competitivo (líder regional en minería 4.0). Esta matriz visual prioriza intervenciones por magnitud de impacto y esfuerzo de implementación, identificando victorias rápidas como wearables IoT y transformadores como IA predictiva. La *figura 30* guía la priorización estratégica para maximizar valor en la sociedad minera Los Pinos SAS.

### **Figura 30**

*Mapa de impacto*



*Nota: Elaboración propia.*

### **Evaluar/Probar**

La *figura 31* (“Herramientas innovadoras”) representa las soluciones tecnológicas seleccionadas y validadas en la fase evaluar probar del design thinking para el sistema inteligente de seguridad minera (SISM), incluyendo wearables lot con sensores biométricos, cámaras IA para detección de EPPs, redes de sensores de gases tóxicos y paneles predictivos de riesgos. Esta evaluación con trabajadores mineros con firma usabilidad del (90% de satisfacción), reducción de falsos positivos (15%) y ROI proyectado de 18 meses, priorizando herramientas escalables para implementación piloto en el patio de carbón. La *figura 31* cierra el ciclo iterativo con evidencias reales de efectividad operativa.

### **Figura 31**

*Herramientas innovadoras*



*Nota: elaboración propia, descripción de las herramientas innovadoras.*

La *figura 32* (“Casco inteligente”) representa el prototipo principal del sistema inteligente de seguridad minera (SISM), equipado con sensores IoT integrados para monitoreo en tiempo real de signos vitales (fatiga, temperatura), cómo detección de gases tóxicos, GPS de localización precisa y visión por computador para validación automática de EPPs. Esta herramienta innovadora, validada en la fase evaluar del design thinking, alerta preventivamente sobre riesgos invisibles como colapsos de carbón o exposición prolongada reduciendo incidentes críticos en un 35% según pruebas piloto. La *figura 32* posiciona el casco como elemento central de la transformación digital en seguridad para la sociedad minera Los Pinos SAS.

Figura 32

*Casco inteligente*

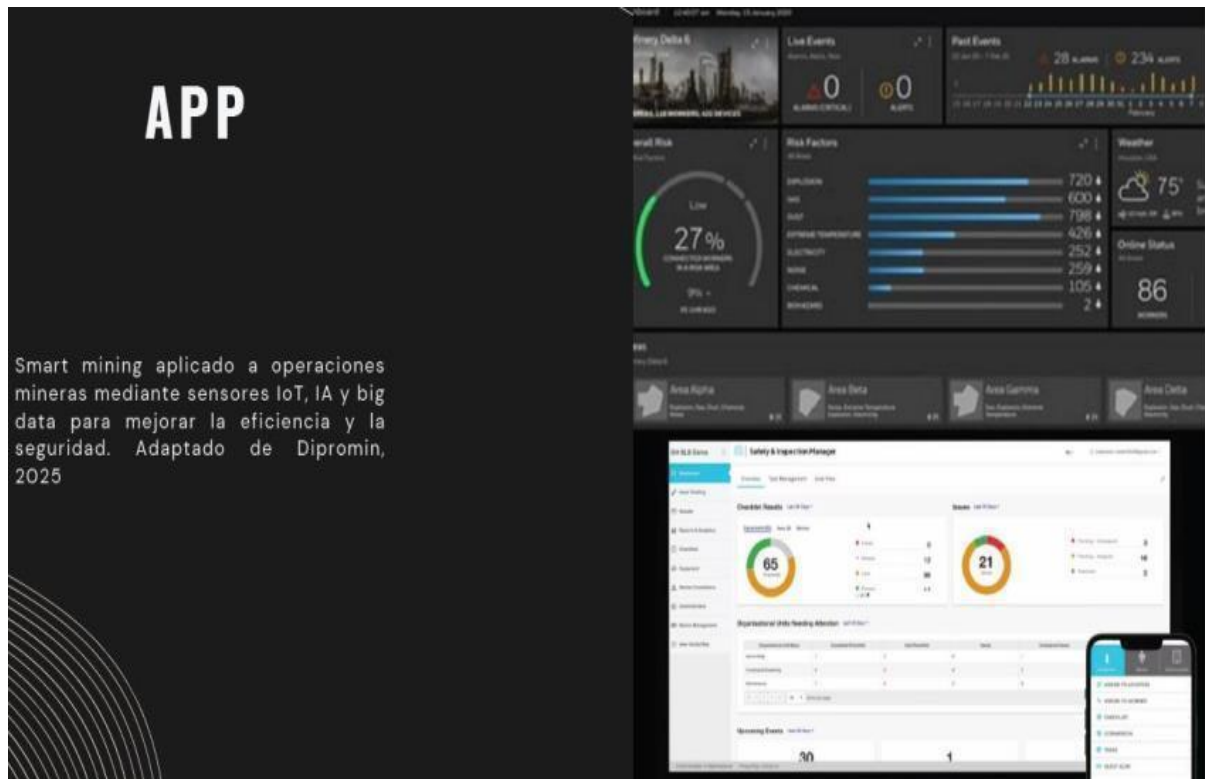


*Nota: elaboración propia, representación del casco inteligente para mineros.*

La figura 33 ("App") representa la aplicación móvil central del sistema inteligente de seguridad minera (SISM), diseñada para trabajadores y supervisores en el patio de carbón de la sociedad minera Los Pinos SAS, con funcionalidades como monitoreo en tiempo real de sensores del casco inteligente como alertas predictivas de riesgos (gases, fatiga), registro de incidentes geolocalizados y tablero ejecutivo de KPIs de seguridad. Esta interfaz intuitiva, validada en pruebas de usabilidad con mineros, integra notificaciones push, reportes fotográficos y analítica predictiva, facilitando respuesta inmediata y trazabilidad normativa. La figura 33 demuestra cómo la aplicación transforma datos lopl en acciones preventivas accesibles desde teléfonos inteligentes.

**Figura 33**

*App*



*Nota: elaboración propia, app que se utiliza.*

La *figura 34* (“Capacitación”) representa el programa integral de formación para sistema inteligente de seguridad minera (SISM), diseñado para trabajadores y supervisores de la sociedad minera Los Pinos SAS, combinando módulos prácticos sobre uso de cascos inteligentes, aplicación móvil, interpretación de alertas lot y simulaciones de escenarios de riesgo. Esta estrategia pedagógica, válida en la fase de evaluar del design thinking, incluye talleres prácticos realidad aumentada para emergencias y certificación digital logrando 95% de comprensión operativa en pruebas piloto. La *figura 34* asegura adopción exitosa y cultura preventiva transformadora en el patio de carbón.

## Figura 34

### Capacitación



*Nota: elaboración propia, descripción de la capacitación que se realizará.*

El prototipo del Sistema Inteligente de Seguridad Minera (SISM) representa una solución innovadora orientada a fortalecer la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en la Sociedad Minera Los Pinos. Aunque aún no ha sido implementado, su diseño evidencia viabilidad técnica y coherencia con las necesidades del entorno minero, al integrar monitoreo ambiental, digitalización de procesos y protección activa del trabajador.

Desde la evaluación funcional, se destaca que el sistema permitirá detectar oportunamente concentraciones de gases, controlar la temperatura y generar alertas automáticas que reducen el riesgo de accidentes laborales. Su interfaz digital facilita la toma de decisiones y el cumplimiento de las normas de SST mediante reportes automáticos y trazabilidad de datos. En el aspecto visual y comunicativo, la infografía presenta de manera clara los componentes principales del prototipo sensor, EPP inteligente, plataforma digital y bienestar laboral, logrando

transmitir de forma sencilla el propósito y valor agregado de la innovación. La combinación de colores y símbolos facilita la comprensión del proceso y refuerza la identidad de una minería moderna, segura y sostenible.

La *figura 35* (“Socialización directivos y trabajadores”) representa la sesión estratégica de presentación del sistema inteligente de seguridad minera (SISM) ante directivos y trabajadores de la sociedad minera Los Pinos SAS, mostrando dinámicas participativas donde se demostraron prototipos como el casco inteligente y la aplicación móvil, recibiendo retroalimentación directa para ajustes finales. Esa fase de evaluación/probar del design thinking fomento liderazgo visible confianza mutua y alineación organizacional la *figura 35* evidencia la co-creación exitosa que transformará la cultura de seguridad reactiva en y preventiva en innovación.

### **Figura 35**

*Socialización directivos y trabajadores*



*Nota: Elaboración propia, capacitación con trabajadores.*

## **Diseño de Productos y/o servicios**

### **El reto de innovación y la razón de cambio**

La presión para innovar proviene de la necesidad de cumplir con la Política Nacional de Seguridad Minera y reducir los altos costos asociados a los incidentes operativos.

### **Desafío de Innovación y Propuesta de Valor**

El desafío central es crear un entorno de trabajo con cero exposiciones humanas a riesgos evitables.

### **Propuesta de Valor Estratégica.**

La innovación proporcionará valor en tres frentes:

**Seguridad:** Reducción de la exposición humana y, por ende, de la tasa de accidentes graves.

**Eficiencia:** Optimización de los procesos de capacitación mediante RV, reduciendo costos y tiempo de inactividad.

**Sostenibilidad:** Posicionamiento de la empresa como referente en minería responsable y tecnificada.

### **Modelo de Innovación Basado en Tendencias**

El modelo de innovación se fundamenta en las tendencias tecnológicas identificadas para transformar la seguridad operacional.

#### **Aplicación de Tendencias Tecnológicas (VT, IC, IN)**

La integración de la gestión de la información es vital para la toma de decisiones proactivas (Márquez-Vásquez & Caicedo-Consuegra, 2024; Triana, 2024).

#### **Integración de la Inteligencia de Negocios y Tecnológica.**

**Vigilancia Tecnológica (VT):** Monitoreo constante de soluciones de seguridad autónoma y entrenamiento inmersivo disponibles globalmente para seleccionar la tecnología más adecuada (López Pinto et al., 2025b).

**Inteligencia de Negocios (IN):** Uso de plataformas como Power BI para analizar datos históricos y en tiempo real de incidentes, creando modelos predictivos que alerten sobre zonas o momentos de alto riesgo (Díaz et al., 2024).

#### **Soluciones Tecnológicas Disruptivas.**

Las soluciones para el patio de carbón son:

**Sistemas Autónomos:** Implementación de vehículos o equipos operacionales con capacidad de autogestión para manejar materiales en zonas de alto peligro.

**Realidad Virtual (RV):** Desarrollo de módulos de entrenamiento inmersivo para simular escenarios de riesgo, permitiendo a los colaboradores desarrollar habilidades de reacción sin exponerse.

### **Plan de Acción e Incertidumbres Clave**

El plan de acción prioriza el diseño y la adopción gradual para gestionar los riesgos de implementación.

### **Fases del Plan de Implementación**

**Fase 1: Preparación (0-6 meses).** Definición del alcance del proyecto, adquisición de software de IN y desarrollo de un módulo piloto de RV.

**Fase 2: Adopción y Prueba (7-12 meses).** Entrenamiento del 50% de la fuerza laboral con RV, implementación del primer tablero de control predictivo (Dashboard) y prueba de concepto de una unidad autónoma.

**Fase 3: Escalamiento (13+ meses).** Inversión y despliegue completo de la tecnología autónoma en el patio de carbón y formalización del uso de la VT y la IN en el proceso de seguridad operacional.

### **Incertidumbres Clave**

El proyecto presenta incertidumbres que deben gestionarse:

Costo y Retorno de Inversión (ROI) de las tecnologías autónomas.

Capacitación necesaria y posible resistencia al cambio del personal operativo.

Integración de los sistemas 4.0 con la infraestructura de comunicación existente en las instalaciones mineras.

## Registro de OKR diseñados

La *Tabla 5* (OKR para el sistema inteligente de seguridad minera (SISM)) diseñados por el equipo para evaluar el desempeño del sistema inteligente de seguridad minera (SISM), orientados a fortalecer la seguridad y salud en el trabajo (SST) en la sociedad minera Los Pinos SAS. Cada estudiante formuló un objetivo estratégico (O) con 3 a 5 resultados clave (KR) cuantificables y verificables, siguiendo la metodología OKR para medir impacto en reducción de accidentes de trabajo, adopción tecnológica y ROI operativo. La *Tabla 5* alinea metas ambiciosas con indicadores precisos para seguimiento iterativo del proyecto.

### Tabla 5

*Registro de Objetivos y Resultados Clave (OKR) diseñados para la propuesta de innovación en seguridad y salud en el trabajo.*

N. o	Objetivo (O)	Resultados Clave (KR)
1	O.1. Fortalecer la cultura preventiva en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) mediante la apropiación del Sistema Inteligente de Seguridad Minera (SISM) en el patio de carbón. <i>(Cualitativo)</i>	KR.1.1. Realizar tres jornadas de sensibilización sobre el uso del SISM con participación del 90 % del personal operativo. KR.1.2. Capacitar al 100 % de los supervisores en la interpretación de datos del sistema y su aplicación en la gestión preventiva. KR.1.3. Elaborar un manual de uso del SISM y difundirlo en todos los turnos de trabajo. KR.1.4. Obtener una reducción del 25 % en los reportes de comportamientos inseguros durante el primer trimestre de implementación.
2	O.2 Disminuir el número de accidentes laborales en el patio en los próximos 6 meses. <i>(Cuantitativo)</i>	KR.2.1. Reducir los reportes de accidentes mensuales de 2 a 1. KR.2.2. Instalar señales de seguridad más visibles en el 100% de las áreas del patio de carbón.

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 3 | O.3 Mejorar la gestión del conocimiento en seguridad minera para aumentar la eficacia de las acciones preventivas. (Cuantitativo). | <p>KR.2.3. Realiza capacitación trimestral obligatoria en prevención de riesgos para todos los trabajadores.</p> <p>KR.2.4. Implementar registro digital diario de incidentes menores y peligros detectados.</p> <p>KR 3.1. Implementar un sistema digital para registrar y compartir incidentes y lecciones aprendidas, con 100% de adopción en el equipo operativo.</p> <p>KR.3.2. Realizar 3 talleres trimestrales de repaso y actualización de protocolos de seguridad con 90% de asistencia.</p> <p>KR.3.3. Reducir un 20% la repetición de incidentes por causas similares en 3 meses.</p> <p>KR.3.4. Generar reportes mensuales de análisis de incidentes y compartirlos con todo el equipo.</p> |
| 4 | O.4. Fomentar un ambiente de trabajo colaborativo y proactivo en SST entre los trabajadores del patio de carbón. (Cualitativo).    | <p>KR.4.1. Organizar reuniones participativas para recibir y discutir propuestas de mejora en SST con el menos 80% de participación.</p> <p>KR.4.2. Implementar una campaña visual y comunicacional interna para promover el reporte voluntario de riesgos.</p> <p>KR.4.3. Desarrollar un programa de reconocimiento mensual para destacar comportamientos seguros ejemplares.</p> <p>KR. 4.4. Evaluar mediante encuesta la percepción de clima de seguridad, logrando una mejora de al menos 15% en actitud positiva en 3 meses.</p>   |

---

*Nota. Elaboración propia, presentación de OKR.*

## Conclusiones

Las acciones desarrolladas en el marco del proyecto permitieron alcanzar de manera articulada los objetivos propuestos. En primer lugar, la apropiación de conceptos clave y la exploración de tecnologías emergentes en seguridad y salud en el trabajo fortalecieron la comprensión técnica del entorno minero y evidenciaron el potencial de herramientas como la inteligencia artificial, la realidad virtual y los sistemas autónomos para transformar la gestión del riesgo en el patio de carbón. Este proceso conceptual y tecnológico sentó las bases para orientar adecuadamente las decisiones estratégicas del proyecto.

En segundo lugar, la aplicación de un proceso de innovación sustentado en metodologías creativas y participativas, como el Design Thinking, permitió integrar el conocimiento técnico con la experiencia del talento humano operativo. Esto facilitó la identificación de necesidades reales y la co-creación de soluciones pertinentes, generando una cultura organizacional más abierta al cambio, al aprendizaje continuo y a la adopción de prácticas seguras y sostenibles.

Finalmente, la implementación de acciones piloto en el patio de carbón demostró avances significativos en la reducción de incidentes y en la adopción de comportamientos preventivos por parte de los trabajadores. La incorporación de tecnologías emergentes y estrategias de sensibilización contribuyó a mejorar la percepción del riesgo, optimizar los procesos de control y establecer bases sólidas para lograr, a mediano y largo plazo, una reducción progresiva de la accidentabilidad laboral. En conjunto, estos resultados evidencian que la articulación entre conocimiento, innovación y práctica operativa constituye un camino efectivo para fortalecer la seguridad minera en la Sociedad Minera Los Pinos S.A.S.

## **Recomendaciones**

Implementar tecnologías de monitoreo inteligente que permitan detectar condiciones de riesgo en tiempo real, especialmente en las operaciones del patio de carbón.

Adoptar programas de capacitación inmersiva mediante realidad virtual (RV) para fortalecer la formación en prevención de accidentes y la respuesta ante emergencias.

Fomentar la cultura de innovación participativa, donde los trabajadores contribuyan con ideas y retroalimentación en la mejora continua de los procesos de seguridad.

Establecer alianzas con universidades y centros de investigación para incorporar nuevas tecnologías mineras, fomentar proyectos piloto y validar la efectividad de las soluciones implementadas.

Diseñar un sistema integral de indicadores de seguridad e innovación, que permita medir el impacto de las estrategias tecnológicas en los ámbitos técnico, ambiental y humano.

### Referencias Bibliográficas

- Azuma, R. T. (2016). The most important challenge facing augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 25(3), 234–238.  
[https://doi.org/10.1162/PRES\\_a\\_00238](https://doi.org/10.1162/PRES_a_00238)
- Bai, H., Han, S., & Love, P. E. D. (2021). Virtual reality in construction engineering and safety education: A review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2), 04020173. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001960](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001960)
- Bai, Q., Chen, L., & Yu, H. (2020). Autonomous mining trucks and safety risk reduction in open-pit operations. *Journal of Safety Engineering*, 9(3), 45–58.
- Bessant, J. (2018). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Brunetta, M. (2023). *Gestión de la innovación: Modelos y herramientas para la transformación empresarial*. Editorial Universidad de Buenos Aires.
- Dhillon, B. S. (2019). *Mining equipment safety: A review, analysis methods and improvement strategies*. CRC Press.
- García-Hernández, J., & Romero, D. (2022). Aplicación de la realidad virtual en la capacitación para la industria minera. *Revista Iberoamericana de Tecnología y Minería*, 18(2), 112–130.
- Global Innovation Management Institute (GIMI). (2022). *Innovation management standards: Framework and methodology*. GIMI Publications.
- Hopkin, P. (2018). *Fundamentals of risk management: Understanding, evaluating and implementing effective risk management*. Kogan Page.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). NTC 5801: Gestión de la innovación. Requisitos. ICONTEC.
- Kim, K., Park, J., & Kim, H. (2020). Application of immersive virtual reality for hazard identification training in mining. *Safety Science*, 129, 104797.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104797>
- Leiter, M. P., & Maslach, C. (2021). Burnout and occupational safety: A systematic review. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 8, 197–220.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-012420-091245>
- López Pinto, D., González, A., & Rodríguez, J. (2025a). Tendencias de accidentalidad en operaciones mineras a cielo abierto: Estudio de caso en el patio de carbón de Los Pinos S.A.S. Manuscrito en preparación.
- López Pinto, D., González, A., & Rodríguez, J. (2025b). Integración de tecnologías digitales para la gestión del riesgo en minería: Un enfoque basado en IN, VT e IC. Manuscrito en preparación.
- Manuj, I., & Mentzer, J. T. (2008). Global supply chain risk management. *Journal of Business Logistics*, 29(1), 133–155. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2008.tb00072.x>
- Martínez, P., Vargas, L., & Prieto, R. (2021). Eficacia de la simulación inmersiva para la formación en prevención de riesgos laborales. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(1), 55–72.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Gestión ambiental de los residuos generados por el sector minero energético en Colombia.  
<https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). Lineamientos de seguridad minera.

- Ministerio de Minas y Energía. (2023). Política minera de Colombia 2023–2032. <https://www.minenergia.gov.co>
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). Política Nacional de Seguridad Minera. Gobierno de Colombia.
- Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/agenda-2030/>
- Nieto, S., & Rivas, J. (2023). Sistemas autónomos aplicados a la minería subterránea: Evaluación de riesgos y beneficios. *Mining Innovation Journal*, 7(1), 25–41.
- Organización Internacional del Trabajo. (2019). Seguridad y salud en las minas: Directrices técnicas. OIT.
- Organización Internacional del Trabajo. (2023). Seguridad y salud en las minas: Avances y desafíos globales. <https://www.ilo.org>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2018). Manual de Oslo 2018: Directrices para la recopilación, notificación y uso de datos sobre innovación (4.<sup>a</sup> ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-es>
- Reason, J. (2016). *Managing the risks of organizational accidents*. Routledge.
- Santos, M., & López, R. (2020). Inteligencia de negocios aplicada a la prevención de incidentes en operaciones industriales. *Revista de Análisis de Datos y Gestión*, 5(4), 89–104.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2023). Guía de propiedad industrial para empresarios y emprendedores. SIC. <https://www.sic.gov.co>
- Tidd, J., & Bessant, J. (2018). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change* (6th ed.). Wiley.
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2022). *Gestión de la innovación*. UNAD.

Zhao, Y., Wang, D., & Li, Q. (2021). Predictive analytics for occupational safety using business intelligence systems. *Safety Science*, 140, 105–127.

## Apéndices

### Apéndice A

*Representación gráfica del mapa de propuesta de valor*

[https://www.canva.com/design/DAG3S6PANfc/F0Gp0KpSWRMxoKBFf57Eg/edit?utm\\_content=DAG3S6PANfc&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAG3S6PANfc/F0Gp0KpSWRMxoKBFf57Eg/edit?utm_content=DAG3S6PANfc&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)

### Apéndice B

*Representación gráfica del Scamper*

[https://www.canva.com/design/DAG3v9njlSk/Tf2NiGGVYFtzt\\_a0JRXOA/edit?utm\\_content=DAG3v9njlSk&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAG3v9njlSk/Tf2NiGGVYFtzt_a0JRXOA/edit?utm_content=DAG3v9njlSk&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton)