



## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA.

Modalidad: Diplomado  
Innovación organizacional  
“Business case”

“Hacia una economía circular en la operación minera”

Andrés Orlando Díaz Niño  
Erika Patricia Duarte Lesmes  
John Jairo Niño Merchán

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Programa de grado en Innovación Organizacional

Director (a):

Martha Jaimes

Modalidad:

Innovación organizacional  
“Business case”

Universidad EAN  
Bogotá D.C., Colombia MAYO/2025

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

## Resumen ejecutivo

El presente trabajo propone una alternativa de solución de innovación organizacional aplicada a la minería subterránea, mediante la posible implementación de un modelo de economía circular en la Mina El Silencio, operada por Aris Mining en Segovia, Antioquia. La propuesta, denominada Ecopack-Rock, plantea la posibilidad de fabricar bloques de concreto a partir de residuos mineros como relaves, roca estéril y agua reciclada, con el fin de explorar su uso como posible alternativa al sistema de sostenimiento tradicional en madera (Woodpack).

Este modelo se orienta a mejorar la sostenibilidad ambiental, reducir costos operativos y aumentar la seguridad en la operación, sujeto a estudios de viabilidad técnica, económica y normativa. A través de metodologías de innovación como el mapa de empatía, la técnica “How Might We” y marcos ágiles como Scrum y Lean, se estructuró un caso de negocio preliminar alineado con los ODS 12, 13 y 15.

El análisis financiero inicial sugiere que el modelo podría representar una reducción de costos del 38% anual, equivalente a un ahorro superior a 833 millones de pesos colombianos, considerando los insumos actuales. Asimismo, se anticipan beneficios potenciales como mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento, además de posibles impactos positivos en el entorno social, como la generación de empleo y el fortalecimiento de la responsabilidad social empresarial.

El plan de implementación incluye una estrategia de capacitación, indicadores de desempeño y un enfoque de cambio organizacional. Si se comprueba su viabilidad técnica y normativa, el modelo Ecopack-Rock podría constituir una alternativa escalable y replicable, contribuyendo a transformar la minería hacia una operación más sostenible, eficiente e innovadora.

## Contenido

Resumen ejecutivo .....	3
Objetivos y Alineación Estratégica .....	7
1. Contexto y Desafío de Innovación.....	8
1.1 Análisis del Ecosistema de Innovación del Sector y de la Solución Propuesta .....	8
1.2 Enfoque del Proyecto en Relación con los objetivos de Desarrollo Sostenible .....	9
1.3 Mapa De Empatía Cliente Usuario .....	11
1.4 Mapa de How might we /usuario .....	12
2. Solución Innovadora .....	13
2.1 Descripción de La solución .....	13
2.2 Elementos Clave de la Solución .....	14
2.3 Consideraciones para la Implementación .....	16
2.4 Caso de éxito .....	16
3. Competencia .....	16
4. Plan De Implementación Bajo Metodologías Ágiles .....	18
4.1 Roadmap De Innovación .....	18
4.2 Metodología de Desarrollo.....	19
4.2.1 Evaluación y Seguimiento .....	20
4.3 Equipo y Recursos Necesarios.....	20
4.3.1 Recursos Tecnológicos Necesarios.....	21
5. Análisis Financiero y de Impacto.....	21
5.1 Análisis de Escenarios (mejor caso, peor caso, caso más probable) .....	24
5.2 Impacto social y ambiental.....	24
6. Gestión de Riesgos y Oportunidades.....	26
6.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación .....	26
6.2 Análisis de Pivote (opciones alternativas) .....	27
6.3 Oportunidades de Escalabilidad y Crecimiento futuro .....	27
7. Métricas de Éxito y KPIs de Innovación .....	28

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

7.1 OKRs (Objectives and Key Results) del Proyecto .....	28
7.2 Métricas de Innovación .....	29
7.3. Plan de Medición y Evaluación Continua .....	30
8. Plan de Gestión del Cambio y Adopción.....	31
8.1 Estrategia de comunicación interna y externa .....	31
8.2 Plan de Capacitación y Desarrollo de Competencias .....	32
8.3 Cultura de Innovación y Mejora Continua .....	33
9. Conclusiones y Próximos Pasos .....	34
9.1 Resumen de Puntos Clave .....	34
9.2 Visión a Largo Plazo y Potencial de Transformación.....	34
10. Apéndices .....	36
10.1 Carta autorización Intervención empresarial business case.....	36
10.2 Encuesta a realizar a trabajadores .....	37
Referencias .....	39

## Figuras

<b>Figura 1</b> Acciones a implementar.....	10
<b>Figura 2</b> ODS asociados a Aris Mining.....	10
<b>Figura 3</b> Mapa de empatía.....	11
<b>Figura 4.</b> Mapa de How might we.....	12
<b>Figura 5</b> Storyboard.....	13
<b>Figura 6</b> Journey Map.....	15
<b>Figura 7</b> Woodpack.....	17
<b>Figura 8.</b> Competencia.....	18
<b>Figura 9</b> Roadmap.....	19
<b>Figura 10</b> Diagrama Scrum.....	19
<b>Figura 11</b> Estrategias.....	30
<b>Figura 12</b> Plan de capacitación.....	32
<b>Figura 13</b> Pilares de la cultura de innovación en Aris Mining.....	33

## Tablas

Tabla 1 Alternativas a la madera en la minería de oro subterránea.....	17
Tabla 2 Fases Roadmap.....	18
Tabla 3 Estructura de equipo y habilidades de Rol.....	20
Tabla 4 Software, Hardware y espacios físicos.....	21
Tabla 5. Modelo financiero.....	22
Tabla 6 Análisis de escenarios.....	24
Tabla 7 Matriz de Riesgos.....	26
Tabla 8 Análisis pivote.....	27
Tabla 9 Oportunidades y crecimiento.....	27
Tabla 10 OKRs propuestos.....	28
Tabla 11 Métricas con 7C's de Innovación.....	29
Tabla 12 Fases plan de evaluación.....	30
Tabla 13 Estrategia de comunicación.....	31
Tabla 14. Desarrollo de competencias.....	32

## Objetivos y Alineación Estratégica

### Objetivo general

Proponer una solución de economía circular en la operación minera subterránea de la mina El Silencio, a través del aprovechamiento de relaves, roca estéril y otros residuos generados en la explotación de oro, para sustituir el uso de madera en el sostenimiento, mejorando la sostenibilidad ambiental, operativa y económica.

### Objetivos específicos

- Identificar las variables técnicas y normativas relacionadas con la economía circular aplicadas a la minería subterránea, a través de una revisión documental y contextual.
- Diagnosticar el uso actual de materiales de sostenimiento en la mina El Silencio y evaluar el potencial de reutilización de residuos generados en el proceso extractivo.
- Diseñar una solución innovadora basada en bloques de concretos fabricados con residuos mineros, que sustituya el sistema de sostenimiento tradicional de madera.
- Evaluar la viabilidad financiera, ambiental y social de la solución propuesta mediante un análisis comparativo de escenarios.
- Establecer un plan de implementación bajo metodologías ágiles, con indicadores de seguimiento y estrategias de gestión del cambio.

## 1. Contexto y Desafío de Innovación

Este capítulo presenta un análisis detallado del contexto operativo y de los principales desafíos que enfrenta la Mina El Silencio en el departamento de Antioquia, especialmente en lo relacionado con la gestión de residuos y sostenibilidad. Segovia es reconocida por su actividad minera aurífera, donde se generan diversos residuos durante el proceso de extracción y beneficio del oro, por lo cual se examina el potencial de aplicación de técnicas de economía circular, acompañado de un diagnóstico interno sobre los requerimientos necesarios para su posible implementación. Asimismo, se contempla la realización de una evaluación dirigida a los actores internos del proceso de extracción, utilizando la metodología “How Might We” (HMW), con el objetivo de identificar oportunidades de mejora concretas. Estas herramientas permitirán estructurar una propuesta de innovación orientada a explorar la viabilidad del uso de principios de economía circular en el contexto minero subterráneo.

### 1.1 Análisis del Ecosistema de Innovación del Sector y de la Solución Propuesta

La minería de oro ha desempeñado un papel importante en la economía colombiana, teniendo como precedente la estabilidad del precio del metal, el cual ha aumentado en la última década, alcanzando máximos históricos que han superado los 2.000 dólares la onza troy. (Tarra & Restrepo Baena, 2024). A pesar de la alta rentabilidad de la industria minera del oro, la minería colombiana presenta grandes desafíos especialmente en temas de seguridad industrial, ambiental y social (Casallas, 2016). En Colombia la producción de oro es uno de los sectores con mayor crecimiento en el país mostrándose como uno de los actores principales en el desarrollo económico. Según la UPME, en 2022 el recaudo por concepto de regalías abonadas a la extracción de oro ascendió a la suma de 69,46 millones de dólares (Tarra & Restrepo Baena, 2024).

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

Aris Mining es una compañía canadiense, su sede principal se ubica en Vancouver, listada en la bolsa de valores de Nueva York y Toronto, con operaciones en Colombia en los departamentos de Antioquia, (operación Segovia-Remedios), departamento de Caldas, (operación de Marmato), departamento de Santander, (proyecto Soto Norte) (Aris Mining, 2022). Aris Mining Colombia es la propietaria de la Mina el Silencio, siendo esta una de las minas más importantes en producción de oro en las operaciones de la compañía (Aris Mining, 2023).

En el marco de la extracción y beneficio de mineral se tienen importantes desafíos para introducir a sus procesos técnicas innovadoras de Economía Circular con el fin de minimizar los impactos ambientales y a su vez reducir costos con el fin de innovar en la forma de extracción de oro en la minería subterránea.

Con el fin de enfrentar estos desafíos, se propone un proyecto en donde se evalúe el estado actual de la operación en temas relacionados con prácticas sostenibles y de economía circular. De acuerdo con ello se planteará una solución en donde se beneficie la operación en términos de reducción de costos y manejo ambiental que genere prácticas mineras más sostenibles, por medio del uso de bloques fabricados a partir de residuos de extracción para apuntalamientos en la mina.

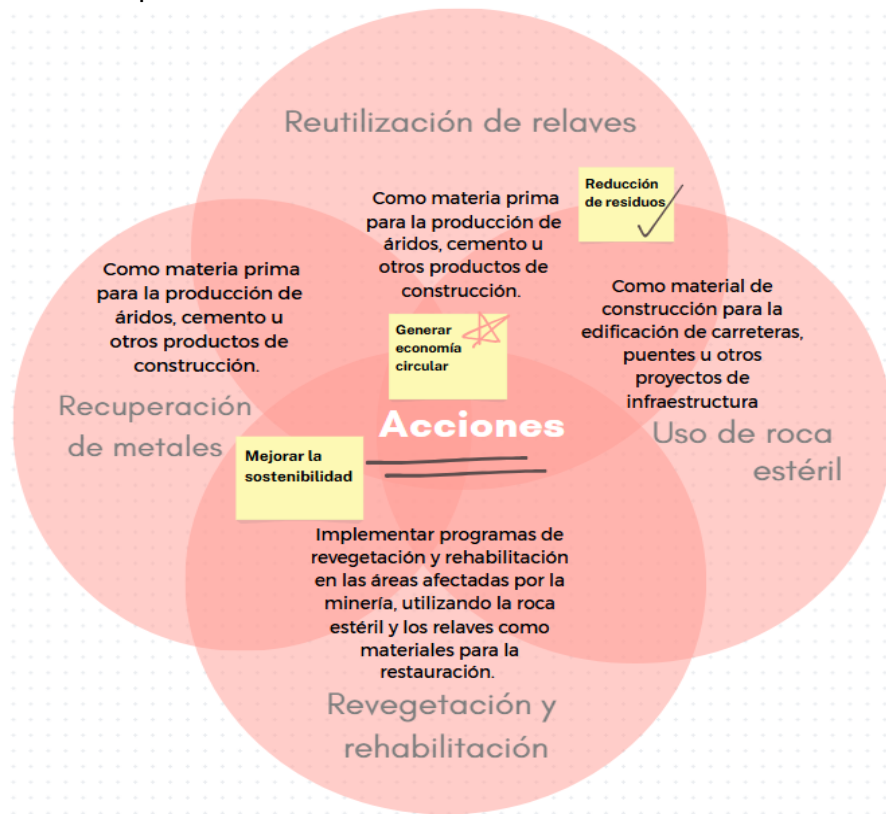
### **1.2 Enfoque del Proyecto en Relación con los objetivos de Desarrollo Sostenible**

Proponer un plan para la utilización de relaves, roca estéril y otros residuos generados en la producción de oro, en la operación de la Mina El Silencio, donde se plantea la producción de bloques que replacen la madera, con el fin de generar un proceso de economía circular.

A continuación, se presentan algunas acciones que Aris Mining puede emplear (figura 1), las cuales se encuentran alineadas directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU (ONU, s.f.), mostrados en la figura 2.

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

**Figura 1** Acciones a implementar



**Nota:** Fuente elaboración propia

**Figura 2** ODS asociados a Aris Mining



**Nota:** el grafico muestra los objetivos que se alinean con la actividad comercial de Aris Mining. Fuente propia.

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

## 1.3 Mapa De Empatía Cliente Usuario

En el contexto de la minería aurífera, la gestión sostenible de los relaves representa un desafío y, a la vez, una oportunidad para mitigar los impactos ambientales y optimizar el aprovechamiento de los recursos. La figura 3 mapa de empatía, busca comprender las percepciones, necesidades y preocupaciones de los actores clave involucrados.

A través de este ejercicio de empatía (Gray, 2012), se pretende desarrollar un enfoque integral que contemple tanto los beneficios económicos como los impactos sociales y ecológicos, facilitando la toma de decisiones informada y la implementación de soluciones sostenibles en la minería del oro.

**Figura 3** Mapa de empatía



**Nota:** elaboración propia, a partir de “Qué es un mapa de empatía y cómo crearlo paso a paso”, por Hammond, M, 2024, <https://blog.hubspot.es/service/mapa-empatia>

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

## 1.4 Mapa de How might we /usuario

Los desperdicios provenientes de la extracción de oro, como relaves y residuos de roca, suelen ser desechados sin mayor procesamiento, lo que puede provocar contaminación del suelo y cuerpos de agua, afectando tanto la biodiversidad como a las comunidades cercanas.

A pesar de los impactos negativos, estos residuos poseen un potencial de reutilización en diversas aplicaciones, sin embargo, hasta el momento no se han desarrollado estrategias efectivas para su aprovechamiento en la región.

Desde esta perspectiva, y utilizando la metodología "How Might We" (HMW), se plantea la siguiente pregunta orientadora:

"¿Cómo podríamos reutilizar los desperdicios generados en la extracción de oro en Segovia, Colombia, para reducir su impacto ambiental y generar valor económico?" (Interaction Design Foundation, 2016)

Figura 4. Mapa de How might we.



**Nota:** elaboración propia, a partir de "¿Qué es la técnica "¿Cómo podríamos?", por Design Thinking, 2024, <https://designthinking.es/como-podriamos/>

## 2. Solución Innovadora

La iniciativa de utilizar residuos de la minería de oro en Segovia, Antioquia, para la fabricación de bloques destinados al apuntalamiento de minas subterráneas es un ejemplo destacado de economía circular. La propuesta se basa en la posible implementación de un sistema para producir bloques de concreto utilizando relaves generados en la planta de beneficio, roca estéril (específicamente granodiorita) y otros residuos producidos en la Mina de Oro El Silencio.

### 2.1 Descripción de La solución

Esta solución busca evaluar la viabilidad de reducir la dependencia de la madera, actualmente empleada en el sostenimiento de las operaciones mineras subterráneas, con el fin de analizar alternativas que puedan mitigar los desafíos asociados a los altos costos, la complejidad en la manipulación y el impacto ambiental del uso de este material.

Figura 5 Storyboard

# Storyboard

HACIA UNA ECONOMIA CIRCULAR EN LA MINERÍA

IDEA

Producción de Bloques de Cemento a partir de Relaves, Roca Estéril y otros residuos en la Mina de Oro El Silencio"

CONTEXTO DEL PROBLEMA	INTRODUCCIÓN A PROPUESTA SOLUCIÓN	INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS
 <p><b>VISUAL:</b> Uso actual de madera para el sostenimiento.</p> <p><b>CONTEXTO:</b> Mina El Silencio depende de la madera para realizar trabajos de sostenimiento en la operación</p> <p><b>NARRACIÓN:</b> "El uso de madera tiene un impacto ambiental significativo y plantea desafíos económicos para la empresa."</p>	 <p><b>VISUAL:</b> Roca estéril y desechos de cable de azadon usados en trabajos de minería.</p> <p><b>CONTEXTO:</b> ¿Y si pudiéramos reutilizar los relaves y la roca estéril para producir bloques de concreto?</p> <p><b>NARRACIÓN:</b> "Proponemos un enfoque innovador: utilizar relaves y roca estéril como materia prima para bloques de cemento."</p>	 <p><b>VISUAL:</b> Laboratorio para análisis de concreto</p> <p><b>CONTEXTO:</b> Realizamos un análisis exhaustivo de la granodiorita y los relaves para evaluar su viabilidad</p> <p><b>NARRACIÓN:</b> "Estudios de laboratorio nos ayudarán a determinar las proporciones óptimas de mezcla y las propiedades del producto final. Diseño de la mezcla".</p>

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

PRUEBAS-CAPACITACIÓN Y CONCIENCIA	IMPLEMENTACIÓN - EVALUACIÓN Y MONITOREO	RESULTADOS Y BENEFICIOS
		
<p><b>VISUAL:</b> Fabricación de bloques de concreto en un entorno controlado. Capacitación con empleados y trabajadores de la mina.</p>	<p><b>VISUAL:</b> Gráficos de resultados de monitoreo y evaluación del rendimiento de los bloques.</p>	<p><b>VISUAL:</b> Entorno de trabajo más sostenible y feliz. Gráficos que muestran el potencial de expansión del proyecto a otras áreas</p>
<p><b>CONTEXTO:</b> Fabricamos prototipos de bloques de concreto y realizamos pruebas de resistencia. Capacitamos a nuestros empleados sobre el uso de nuevos materiales y procesos.</p>	<p><b>CONTEXTO:</b> Comenzamos la implementación en el campo, reemplazando la madera con bloques de concreto. Monitoreamos el rendimiento de los bloques y su impacto en la operación</p>	<p><b>CONTEXTO:</b> Los beneficios incluyen una reducción en el uso de madera, costos más bajos y un menor impacto ambiental. El éxito de este proyecto puede servir como modelo para otras operaciones mineras.</p>
<p><b>NARRACIÓN:</b> Los bloques se someten a pruebas para asegurar que cumplan con los estándares de la mina. Involucrar a los trabajadores es esencial para el éxito del proyecto y la adopción de nuevas prácticas.</p>	<p><b>NARRACIÓN:</b> Esta transición no solo mejora la sostenibilidad, sino que también reduce los costos operativos. Evaluar el éxito del proyecto nos permitirá realizar ajustes y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.</p>	<p><b>NARRACIÓN:</b> Este proyecto no solo transforma la minería, sino que también contribuye a un futuro más sostenible. Con la economía circular, estamos construyendo un futuro donde los recursos se gestionan de manera responsable</p>

**Nota:** el gráfico muestra la planificación visual de la solución, elaboración propia

## 2.2 Elementos Clave de la Solución

La producción de bloques de concreto a partir de relaves y roca estéril se plantea como una alternativa dentro de un enfoque de economía circular, aprovechando materiales que de otro modo serían considerados residuos. Este enfoque podría reducir la cantidad de desechos generados y minimiza el impacto ambiental. Ver (Aris Mining, 2022) (CESCO; CircularTec; Innovación Minera del Perú; CIEC, 2022)

- **Eficiencia de Costos:** al eliminar parcialmente la necesidad de madera, se espera que el modelo pueda contribuir a una reducción significativa en los costos operativos asociados con el sostenimiento
- **Mejora de la Seguridad:** la manipulación de bloques de concreto podría presentar menos riesgos en comparación con la madera, si se demuestra que sus propiedades mecánicas y de instalación son adecuadas para condiciones subterráneas exigentes.
- **Capacitación y Adopción de Nuevas Prácticas:** implementación de programas de

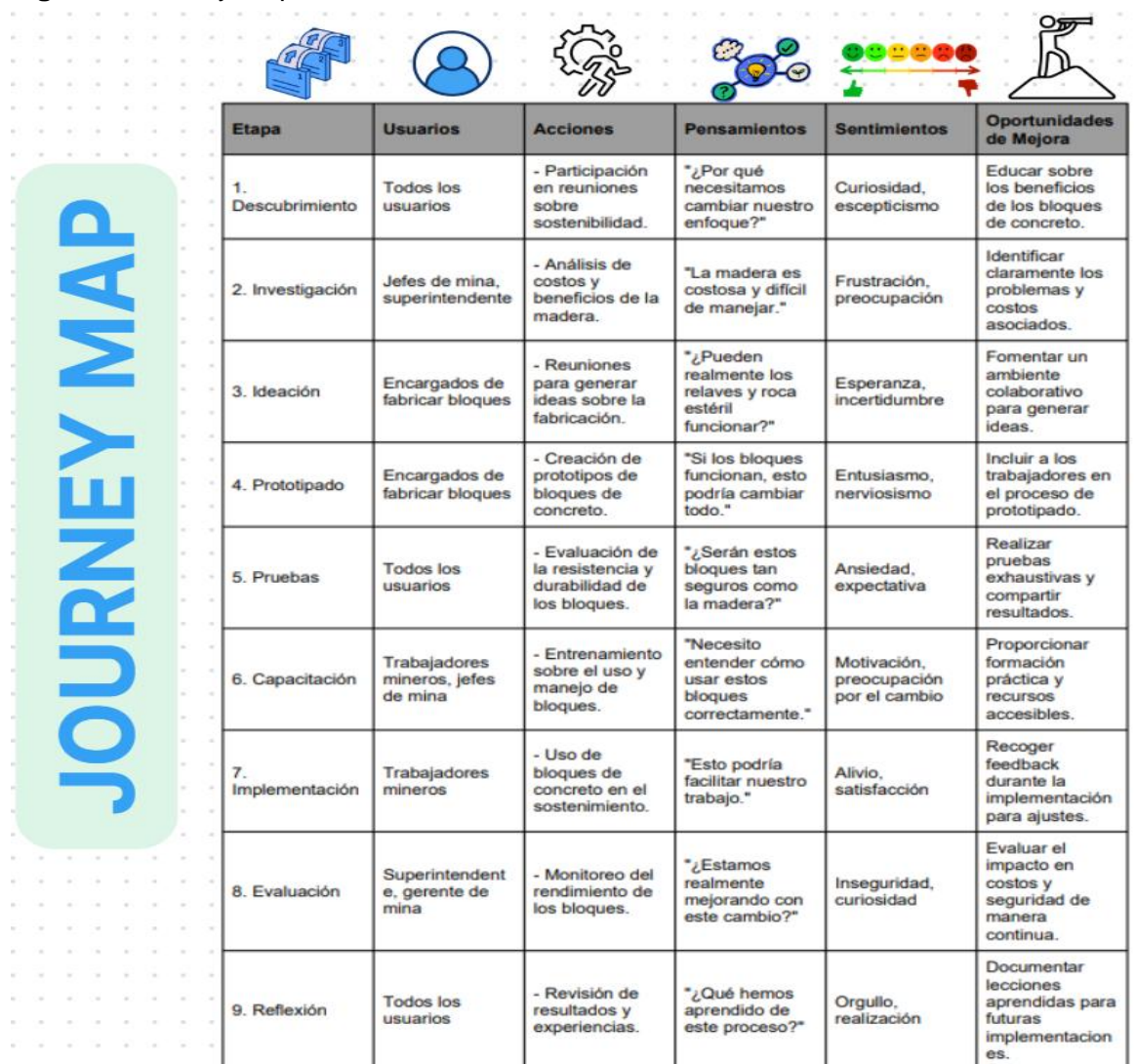
## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

capacitación para los trabajadores, con el fin de facilitar la transición, en caso de que el modelo planteado cumpla lo requerido.

- Pruebas y Validación: se tiene previsto realizar pruebas exhaustivas de los bloques producidos, a fin de verificar que cumplan con los estándares de resistencia, durabilidad y comportamiento en ambientes mineros. La continuidad del proyecto dependerá de los resultados de estas validaciones técnica.

La propuesta se analiza a través de un *Journey Map* (Figura 6) con el fin de identificar las etapas clave del proceso, los puntos de contacto, las oportunidades de mejora y el impacto

**Figura 6** Journey Map



**Nota:** interacciones con usuarios de propuesta. Elaboración propia.

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

### 2.3 Consideraciones para la Implementación

Para llevar a cabo este proyecto, es esencial realizar estudios de viabilidad técnica y económica, incluyendo:

- *Análisis de la resistencia y durabilidad de los ladrillos:* asegurar que los ladrillos fabricados con residuos mineros cumplan con los estándares requeridos para el apuntalamiento en minas subterráneas.
- *Evaluación de costos y beneficios:* determinar la viabilidad económica de la producción y uso de estos ladrillos en comparación con materiales tradicionales.
- *Cumplimiento de normativas de seguridad y ambientales:* garantizar que la producción y uso de los ladrillos cumplan con las regulaciones vigentes en Colombia.

### 2.4 Caso de éxito

Un estudio realizado por la Universidad de Antioquia investigó la elaboración de prototipos de ladrillos cerámicos utilizando mezclas de dos tipos de residuos de la minería del oro:

- a) *Capa arcillosa generada a partir de operaciones aluviales (RA):* Este material es un residuo común en las actividades mineras aluviales.
- b) *Colas de flotación (RF):* Residuos generados durante el proceso de beneficio del mineral de veta.

La investigación demostró que es posible fabricar ladrillos cerámicos de calidad utilizando estos residuos, lo que ofrece una alternativa sostenible y rentable para la industria de la construcción y la minería (Zuluaga Castrillon, 2020).

## 3. Competencia

La madera es un elemento tradicional utilizado en la minería subterránea para soportar las paredes y techos de las excavaciones (Grand Colombia Gold, 2019), actualmente es el usado en la mina el Silencio. En los apéndices se muestra el análisis de la encuesta realizada a 15 colaboradores de la mina el Silencio, con el fin de entender el impacto del uso actual de la

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

madera en el proceso de extracción.

**Figura 7** Woodpack



**Nota:** tomada de la mina el Silencio. Elaboración propia

Sin embargo, existen diferentes tipos de apuntalamientos para la explotación minera subterránea, como se muestran en la tabla 1

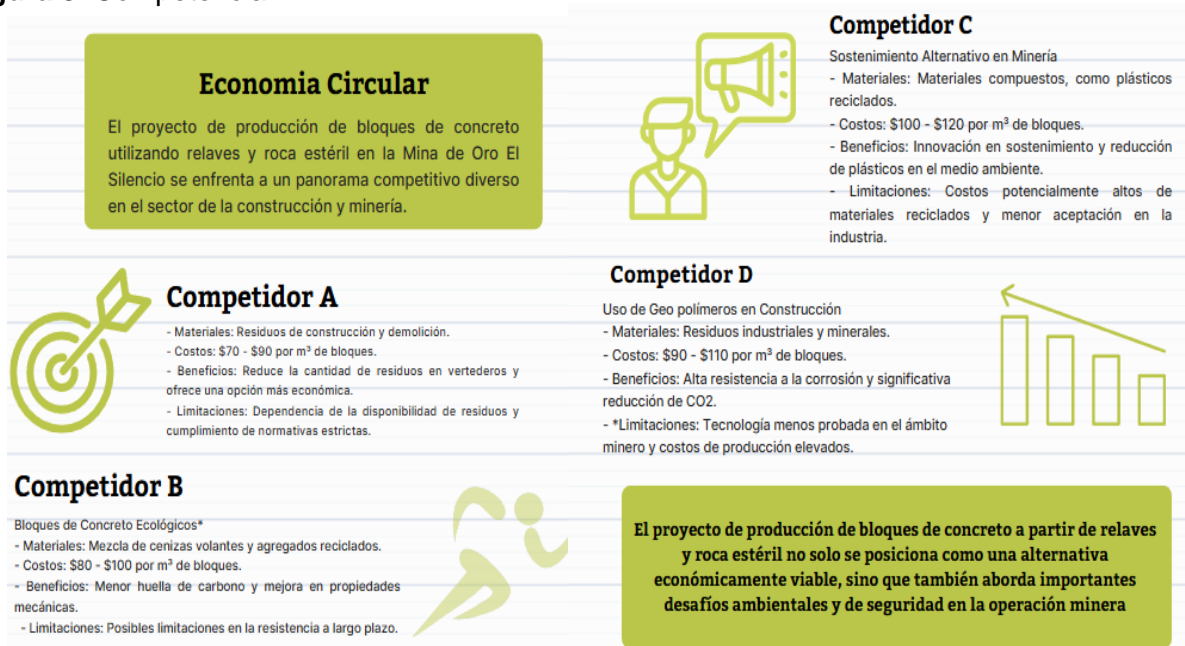
Tabla 1 Alternativas a la madera en la minería de oro subterránea

Tipo de sostenimiento	Ventajas	Desventajas
<b>Pernos de anclaje</b>	Rápida instalación. Adaptables a diversas condiciones geológicas. Pueden ser pasivos o activos.	Requieren perforación previa. Eficiencia limitada si la roca está muy fracturada o alterada.
<b>Cables de acero (Cable bolting)</b>	Soporta grandes volúmenes de roca. Adecuado para excavaciones profundas o inestables. Larga duración.	Instalación compleja. Costo elevado. Requiere inyecciones para fijación eficiente.
<b>Concreto lanzado (Shotcrete)</b>	Proporciona soporte superficial inmediato. Reduce la caída de fragmentos pequeños. Puede reforzarse con fibras.	Requiere equipos especializados. Eficiencia reducida si no se aplica sobre superficie limpia o preparada.
<b>Malla metálica</b>	Retiene bloques pequeños entre pernos. Económica y fácil de instalar. Mejora la seguridad superficial.	No proporciona soporte estructural. Debe complementarse con otros sistemas (pernos o shotcrete).
<b>Cimbras metálicas</b>	Alta resistencia a cargas. Útiles en zonas muy inestables. Reutilizables en algunos casos.	Costosas. Dificultad en instalación en terrenos irregulares. Requieren mantenimiento.
<b>Puntales de madera</b>	Fáciles de instalar. Bajo costo. Recomendados para sostenimiento temporal.	Vida útil corta. Menor capacidad de carga. Peligro de combustión en ambientes secos.
<b>Cuadros de madera</b>	Adecuados para túneles en roca muy mala. Pueden ser instalados manualmente.	Alta demanda de mantenimiento. Deformación con el tiempo. Baja durabilidad.
<b>Paquetes de madera (wood packs)</b>	Buena capacidad de carga puntual. Útiles en reemplazo de puntales.	Dificultad en transporte e instalación. Baja reutilización.
<b>Revestimiento de concreto</b>	Proporciona alta estabilidad. Ideal para estructuras permanentes.	Costo elevado. Requiere planificación detallada. Tiempo de fraguado prolongado.

**Nota:** elaboración propia, a partir de Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (Osinergrmin, 2017)

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

**Figura 8.** Competencia.



**Nota:** elaboración propia

## 4. Plan De Implementación Bajo Metodologías Ágiles

El plan se estructurará en torno a la metodología ágil Scrum, complementada con principios de Lean Manufacturing, para maximizar la eficiencia y minimizar desperdicios en el proceso de producción de ladrillos (Poppendieck & Poppendieck, 2003) .

### 4.1 Roadmap De Innovación

El roadmap se organiza en cinco fases clave, asegurando un proceso estructurado desde la identificación de oportunidades hasta la optimización del sistema de reutilización de residuos.

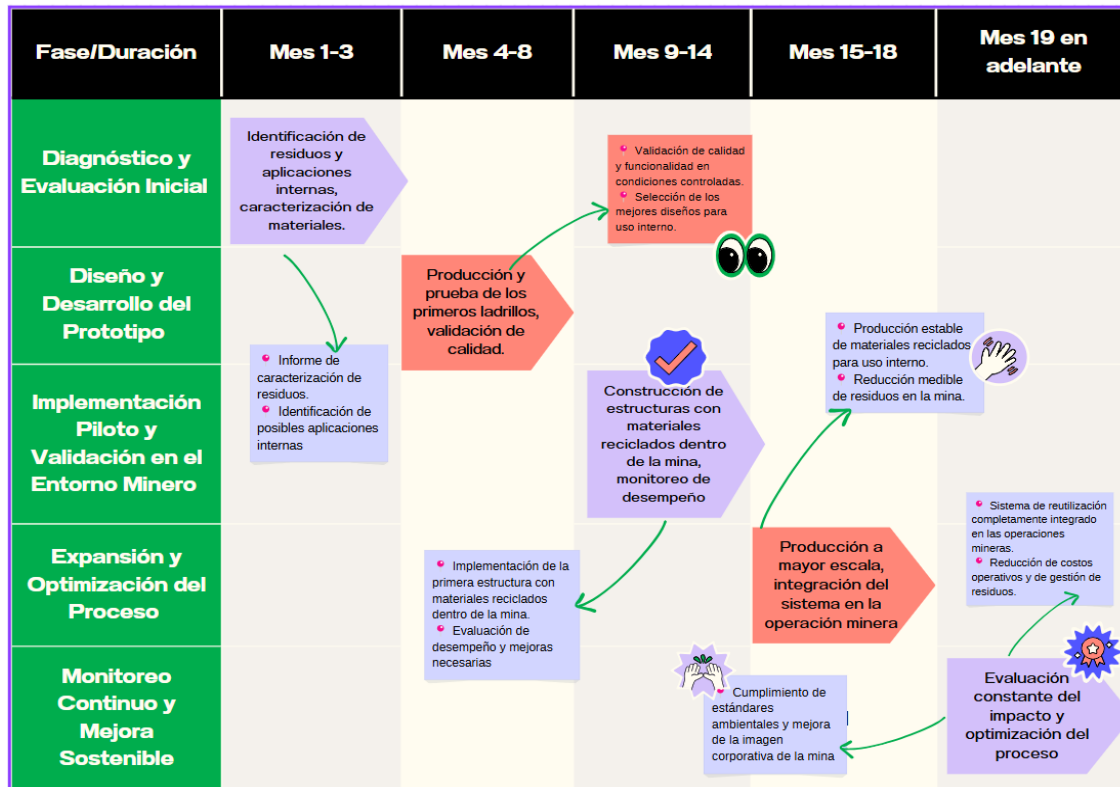
Tabla 2 Fases Roadmap

Fase	Nombre	Objetivo
1	Diagnóstico y Evaluación Inicial (Mes 1 - 3)	Identificar las características de los residuos generados en la explotación minera y evaluar su potencial para ser reutilizados dentro de las instalaciones.
2	Diseño y Desarrollo del Prototipo (Mes 4 - 8)	Diseñar y fabricar un prototipo funcional de ladrillos u otros materiales reutilizables dentro de la mina.
3	Implementación Piloto y Validación en el Entorno Minero (Mes 9 - 14)	Implementar un sistema piloto dentro de la mina para evaluar la viabilidad de la reutilización de residuos en condiciones reales
4	Expansión y Optimización del Proceso (Mes 15 - 18)	Escalar la producción de materiales reutilizados para abastecer diferentes áreas de la operación minera.
5	Monitoreo Continuo y Mejora Sostenible (Mes 19 en adelante)	Garantizar la sostenibilidad y mejora continua del sistema de reutilización de residuos dentro de la mina.

**Nota:** elaboración propia

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

**Figura 9** Roadmap

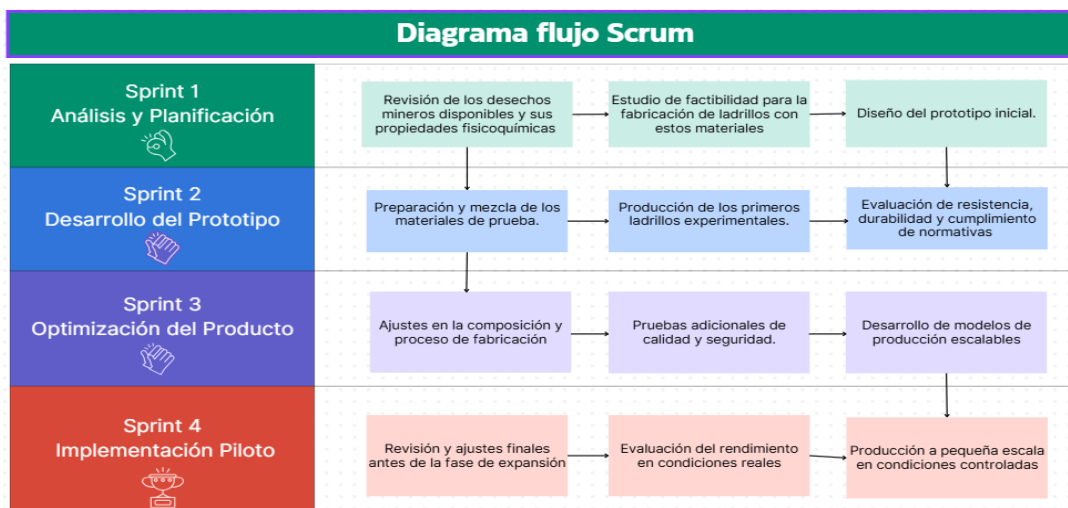


**Nota:** elaboración propia

## 4.2 Metodología de Desarrollo

El desarrollo del proyecto se realizará en sprints (iteraciones) de cuatro semanas cada uno, siguiendo la estructura de Scrum (Sutherland & Schwaber, 2020)

**Figura 10** Diagrama Scrum



**Nota:** elaboración propia

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

Para llevar a cabo la metodología planteada se usarán herramientas y técnicas como reuniones diarias (Daily Scrum), con el propósito de monitorear avances y resolver dificultades al final de cada sprint para evaluar resultados y mejorar el proceso ( Sutherland & Schwaber, 2020).

### 4.2.1 Evaluación y Seguimiento

El éxito del proyecto será medido mediante indicadores clave de desempeño (**KPIs**), tales como:

- **Eficiencia en la producción de ladrillos:** cantidad producida vs. materia prima utilizada).
- **Calidad del producto final:** resistencia, durabilidad y cumplimiento de normativas (Republica de Colombia, 2015). (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2025)
- **Impacto ambiental:** reducción de desechos mineros y emisiones contaminantes
- **Satisfacción de los usuarios internos:** aceptación del producto en el proceso minero.

### 4.3 Equipo y Recursos Necesarios

Para garantizar el éxito del proyecto, se define un equipo interdisciplinario con roles clave, recursos tecnológicos, estrategias de formación y métricas de desempeño. El equipo estará compuesto por especialistas en minería, sostenibilidad e innovación tecnológica

Tabla 3 Estructura de equipo y habilidades de Rol

Rol	Responsabilidades	Habilidades Clave	Experiencia Requerida
Líder de Innovación	Dirige la estrategia, gestiona recursos y supervisa el desarrollo del proyecto.	Liderazgo, estrategia, gestión de equipos.	+5 años en innovación minera.
Diseñador de Experiencia de Usuario	Asegura que la reutilización de materiales mineros cumpla con estándares de seguridad y funcionalidad.	Ingeniería civil, ingeniero industrial, ingeniería de minas.	+3 años en diseño de procesos mineros.
Desarrollador Técnico	Diseña e implementa tecnologías para la transformación de relaves y roca estéril.	Ingeniería de materiales, minería sostenible.	+4 años en procesos industriales.
Experto en Negocio y Economía Circular	Evalúa la viabilidad económica y el cumplimiento normativo del proyecto.	Finanzas sostenibles, normativas ambientales.	+5 años en economía circular en minería.
Analista de Datos y Medio Ambiente	Monitorea el impacto ambiental y optimiza el uso de recursos mineros.	Big data, monitoreo ambiental, modelado predictivo.	+3 años en análisis de datos mineros.
Gestor de Proyectos de Innovación	Coordina el cronograma, gestiona riesgos y supervisa el cumplimiento	Metodologías ágiles, gestión de riesgos.	+4 años en proyectos industriales.

**Nota:** elaboración propia

### 4.3.1 Recursos Tecnológicos Necesarios

Tabla 4 Software, Hardware y espacios físicos

Software	Hardware	Espacio Físico Requerido
Modelado y simulación de procesos mineros: <i>Rock Works, Leapfrog</i>	Equipos de análisis mineralógico y químico.	Laboratorio de innovación en Aris Mining – Mina El Silencio
Análisis de datos ambientales: <i>Power BI, Python, R.</i>	Sistemas de monitoreo en tiempo real para evaluar impacto ambiental.	Área para pruebas con relaves y roca estéril.
Diseño de prototipos para reutilización de relaves: <i>Autodesk Inventor, SolidWorks.</i>	Equipos de impresión 3D para pruebas con materiales reciclados.	Laboratorio de caracterización de materiales.
		Sala de reuniones y espacios de colaboración.

**Nota.** elaboración Propia

## 5. Análisis Financiero y de Impacto

El presente análisis comparativo explora los potenciales beneficios técnicos, económicos y ambientales derivados de la implementación del modelo Ecopack-Rock (bloques de concreto a partir de relaves), frente al sistema tradicional de sostenimiento Woodpack usado en la mina El Silencio, compuesto principalmente por madera.

Desde una perspectiva financiera preliminar, el modelo Ecopack-Rock podría representar una reducción de costos del orden del 38% anual, equivalente a un ahorro superior a 885 millones de pesos colombianos. Este resultado se basa en una comparación de insumos y materiales, aunque no incluye aún variables como mano de obra, inversión tecnológica o costos asociados a investigación y desarrollo.

En cuanto a sostenibilidad ambiental, la adopción de bloques reciclados podría promover una estrategia que reutilice insumos como relaves, agua, fibras y grava, reduciendo la presión sobre recursos naturales no renovables, como la madera. Operativamente, esta propuesta podría aportar mayor durabilidad y resistencia, facilitando su aplicación en ambientes subterráneos inestables, siempre que se valide su comportamiento técnico.

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

En este sentido, el modelo Ecopack-Rock se perfila como una alternativa potencialmente viable y ambientalmente responsable, sujeta a estudios de validación técnica, financiera y normativa, y alineada con tendencias de eficiencia operativa y minería sostenible.

Tabla 5. Modelo financiero

### Modelo Actual

Artículo	Costo unitario (COP)	Consumo mensual (un)	Costo mensual (COP)	Costo anual (COP)
Jackpack 550x550x1.2mm	\$ 107.881	80	\$ 8.630.473	\$ 103.565.680
Madera Cagüi 8x8x60cm	\$ 58.500	1600	\$ 93.600.000	\$ 1.123.200.000
Madera Cagüi 8x8x1m	\$ 95.000	800	\$ 76.000.000	\$ 912.000.000
Cadena motosierra STIHL	\$ 58.240	20	\$ 1.164.800	\$ 13.977.600
Limatón 10"	\$ 3.000	20	\$ 60.000	\$ 720.000
Espada motosierra 40cm	\$ 163.607	5	\$ 818.037	\$ 9.816.440
Mantenimiento motosierra	\$ 120.000	8	\$ 960.000	\$ 11.520.000
Lima triangular 8"	\$ 7.200	20	\$ 144.000	\$ 1.728.000
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>\$ 181.377.310</b>	<b>\$ 2.176.527.720</b>

### Modelo ECOPACK-ROCK (bloques reciclados)

Artículo	Unidad	Fuente	Costo unitario (COP/unidad)	Consumo mensual (unidad)	Costo mensual (COP)	Costo anual (COP)
Cemento	kg	Comercial	3.876	9.600	\$ 37.209.600	\$ 446.515.200
Relave	kg	Reciclado	100	4.800	\$ 480.000	\$ 5.760.000
Agua	lt	Reciclado	2.000	3.200	\$ 6.400.000	\$ 76.800.000
Espuma	lt	Comercial	100	22.400	\$ 2.240.000	\$ 26.880.000
Aditivo	lt	Comercial	200	160.000	\$ 32.000.000	\$ 384.000.000
Fibra	gr	Reciclado	550	32.000	\$ 17.600.000	\$ 211.200.000
Cable	m	Reciclado	1.000	4.800	\$ 4.800.000	\$ 57.600.000
Grava (estéril de mina)	kg	Reciclado	3.500	3.200	\$ 11.200.000	\$ 134.400.000
<b>TOTAL GENERAL</b>					<b>\$ 111.929.600</b>	<b>\$ 1.343.155.200</b>

### Comparativa de costos y ahorro

Concepto	Woodpack (Madera)	Ecopack-Rock (Bloques)	Diferencia (Ahorro)
Costo mensual	\$ 181.377.310	\$ 111.929.600	\$ 69.447.710
Costo anual	\$ 2.176.527.720	\$ 1.343.155.200	\$ 833.372.520
<b>% de reducción de costos</b>			<b>38%</b>

**Nota:** elaboración propia a partir de información entregada en la operación de la mina, ver apéndice 1.

La tabla 5 muestra un modelo comparativo de evaluación económica preliminar para el sostenimiento de minas subterráneas, especialmente en contextos donde se busca mejorar la eficiencia operativa y avanzar hacia prácticas sostenibles.

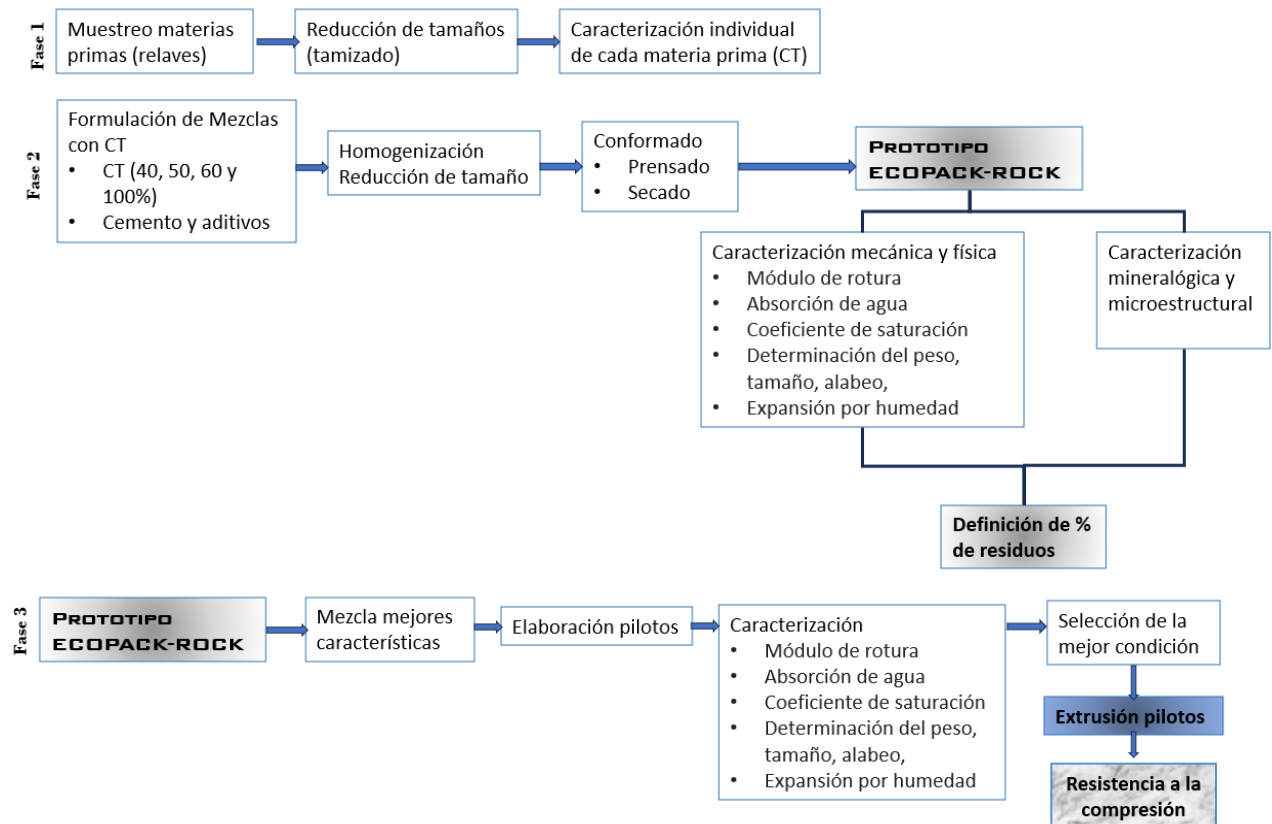
Sin embargo, el análisis se centra exclusivamente en los costos directos de materiales, dejando por fuera variables como la mano de obra, la inversión tecnológica y los costos asociados a investigación y desarrollo, pero ofrece una base sólida para tomar decisiones estratégicas

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

orientadas a la optimización de recursos. Su utilidad radica en que permite identificar de manera clara las diferencias en costos operativos, proyectar el ahorro anual, y establecer escenarios de retorno de inversión en función del cambio de tecnología o enfoque constructivo.

Con el fin de poder dar una visión general al procesamiento de los relaves a continuación se presenta una metodología experimental para el desarrollo de los bloques Ecopack-Rock

**Figura 11** Prototipo



**Nota:** elaboración propia, a partir de implementación de Residuos Mineros en Formulaciones de Mezclas para Elaboración de Ladrillos Cerámicos (Zuluaga Castrillon, 2020)

Este tipo de modelo puede entenderse como un instrumento exploratorio de análisis financiero, el cual, pese a no ser integral, es suficientemente robusto para destacar el impacto económico de sustituir insumos tradicionales por alternativas recicladas. Asimismo, abre la posibilidad de realizar análisis más complejos y completos al ser fácilmente ampliable con otros elementos financieros, como la incorporación de costos de mano de obra, tiempos de instalación,

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

mantenimiento o incluso impactos indirectos en productividad y seguridad laboral.

### 5.1 Análisis de Escenarios (mejor caso, peor caso, caso más probable)

El sistema Ecopack-Rock, además de perfilarse como una opción con potencial ambientalmente sostenible, podría mostrar resiliencia financiera bajo distintos escenarios de implementación. Si bien los resultados son preliminares, se han proyectado tres posibles escenarios que permiten evaluar el comportamiento financiero estimado de la propuesta.

Tabla 6 Análisis de escenarios

Escenario	Supuestos clave	Costo anual Ecopack-Rock (COP)	Ahorro respecto a Woodpack (COP)	% de ahorro estimado
<b>Mejor caso</b>	Reducción del 10% en costos de materiales reciclados y comerciales	\$1.208.839.000	\$ 967.688.720	<b>44%</b>
<b>Más probable</b>	Condiciones actuales (sin variaciones)	\$1.343.155.200	\$ 833.372.520	<b>38%</b>
<b>Peor caso</b>	Aumento del 15% en insumos comerciales y del 5% en consumo total	\$1.556.000.000	\$ 620.527.720	<b>28%</b>

**Nota:** elaboración propia

Mejor caso: Bajo condiciones óptimas de mercado y operación, la implementación de Ecopack-Rock podría reducir los costos hasta en un 44%, lo que representa un ahorro cercano a 968 millones de pesos anuales.

Caso más probable: En un escenario de condiciones normales, el sistema podría generar un ahorro de aproximadamente 833 millones anuales, lo que lo mantendría como una alternativa operativa más eficiente que el uso de madera.

- Peor caso: Incluso ante condiciones adversas, con aumentos en precios o consumo, el modelo seguiría proyectando un ahorro estimado superior a los 620 millones de pesos, es decir, una posible reducción del 28% frente al sistema actual

Cabe aclarar que estas cifras son parte de un análisis económico exploratorio, y su confiabilidad dependerá de los resultados de validaciones técnicas y pruebas en campo que aún están pendientes.

### 5.2 Impacto social y ambiental

La eventual sustitución del sistema de sostenimiento en madera por bloques fabricados a partir

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

de materiales reciclados podría representar un cambio estructural hacia una minería más sostenible, siempre que se demuestre su viabilidad técnica, normativa y operativa. A continuación, se presentan los posibles beneficios identificados:

### *Posibles beneficios ambientales:*

- Reducción de la tala de árboles: el uso de bloques reciclados podría disminuir la demanda directa de madera, contribuyendo a la conservación forestal.
- Aprovechamiento de residuos industriales y mineros: se anticipa una reducción significativa en la cantidad de residuos sólidos enviados a botaderos o cuerpos de agua, si el modelo se valida adecuadamente.
- Disminución de la huella de carbono: al evitar el transporte y procesamiento de madera, y al disminuir la producción de residuos, se estima una posible reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Uso eficiente del agua: el agua utilizada en el proceso proveniente de fuentes recicladas podría evitar la extracción directa de cuerpos hídricos naturales.

### *Posibles beneficios sociales:*

- Creación de empleo local: el modelo podría dinamizar la economía regional mediante emprendimientos asociados al reciclaje y reutilización de materiales, si se implementa de manera escalonada.
- Mejora en condiciones de trabajo: el uso de bloques con dimensiones estandarizadas podría facilitar una instalación más rápida y segura, lo cual requerirá pruebas específicas.
- Reducción de exposición a ruido y emisiones: al disminuir el uso de equipos como motosierras, se podrían lograr ambientes de trabajo menos ruidosos y más saludables.
- Fortalecimiento de la responsabilidad social empresarial: Adoptar soluciones de menor impacto ambiental podría contribuir a mejorar la imagen pública de la compañía minera y su relación con comunidades cercanas.

## 6. Gestión de Riesgos y Oportunidades

La producción de bloques de concreto a partir de relaves y roca estéril está estrechamente vinculada con la gestión del riesgo, ya que implica la necesidad de identificar, evaluar y mitigar los posibles impactos ambientales, operacionales y estructurales asociados al uso de estos materiales en la construcción.

### 6.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación

Mediante una matriz de riesgos, se identifican escenarios posibles que podrían comprometer la implementación del modelo, tales como: fallas estructurales, incompatibilidad con normativas mineras, rechazo por parte de los usuarios finales o limitaciones técnicas en la fabricación.

Tabla 7 Matriz de Riesgos

Categoría	Riesgo Identificado	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Estrategias de Mitigación
<b>Técnico</b>	Falla en la resistencia de los bloques de relave	Media	Alta	Alto	Realizar pruebas de laboratorio y ensayos piloto; validar con normas ASTM; adaptar la mezcla según resultados.
<b>Ambiental</b>	Lixiviación de metales pesados desde los bloques al medio ambiente	Media	Alta	Alto	Aplicar procesos de inertización; pruebas de lixiviación estandarizadas; certificación ambiental del producto.
<b>Social</b>	Rechazo comunitario por percepción de riesgo ambiental	Media	Media	Medio	Implementar campañas de socialización, talleres participativos y reportes públicos de sostenibilidad.
<b>Legal / Regulatorio</b>	Incumplimiento de normativas ambientales o de seguridad minera	Baja	Alta	Medio-Alto	Verificación continua de cumplimiento legal; revisión de normativas locales e internacionales; asesoría legal permanente.
<b>Financiero</b>	Aumento de costos por imprevistos técnicos o baja adopción del producto	Alta	Media	Alto	Establecer fondo de contingencia; revisión periódica de proyecciones; búsqueda de subsidios o apoyo estatal.
<b>Operacional</b>	Retrasos en la producción o problemas logísticos en la planta de bloques	Media	Media	Medio	Planificación anticipada, proveedores alternos, seguimiento con metodología Scrum y Daily meetings.
<b>Mercado</b>	Baja demanda por bloques sostenibles en el mercado de la construcción	Baja	Alta	Medio	Alianzas con constructoras; certificación sostenible (LEED); campañas de mercadeo con enfoque ESG.
<b>RRHH y Capacitación</b>	Falta de habilidades del personal para manipular los nuevos bloques o procesos	Media	Media	Medio	Implementar plan de formación técnica (SENA); certificaciones; evaluación post-capacitación.
<b>Imagen corporativa</b>	Riesgos reputacionales por percepción negativa si falla el proyecto	Baja	Alta	Medio-Alto	Comunicación estratégica; transparencia en informes; alianzas académicas que respalden científicamente la propuesta.

**Nota:** elaboración propia

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

### 6.2 Análisis de Pivote (opciones alternativas)

En caso de que las pruebas piloto o los análisis técnicos revelen que los bloques no cumplen con los requisitos funcionales o normativos, se han contemplado opciones de pivote, tales como la búsqueda de materiales complementarios, el rediseño de la mezcla o el uso de los bloques en otras áreas operativas donde las exigencias estructurales sean menores.

Tabla 8 Análisis pivote

Opción	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Opción A</b>	Uso de otros materiales reciclados (cenizas volantes, plásticos reciclados)	Diversificación de materiales; menor dependencia de relaves	Requiere nuevos procesos de producción y certificaciones
<b>Opción B</b>	Colaboración con empresas de construcción sostenibles	Acceso a nuevas tecnologías y mercados; alianzas estratégicas	Dependencia de terceros; posibles conflictos de intereses
<b>Opción C</b>	Desarrollo de productos alternativos (adoquines, paneles)	Mayor flexibilidad comercial; nuevas oportunidades de ingresos	Requiere investigación y desarrollo adicional

**Nota:** elaboración propia

### 6.3 Oportunidades de Escalabilidad y Crecimiento futuro

Tabla 9 Oportunidades y crecimiento

Oportunidad	Descripción	Beneficios Esperados	Requerimientos
Expansión a otras minas	Replicar el modelo en otras operaciones mineras que enfrenten problemas similares.	Aumento de ingresos y diversificación de mercados.	Evaluación de la viabilidad en otras ubicaciones.
Producción de nuevos productos	Desarrollar productos alternativos, como adoquines o paneles de construcción.	Ampliación de la línea de productos y acceso a nuevos mercados.	Investigación y desarrollo adicional.
Certificaciones de sostenibilidad	Obtener certificaciones ambientales y de sostenibilidad.	Mejora de la reputación y acceso a mercados que valoran la sostenibilidad.	Cumplimiento de normativas y estándares de certificación.
Colaboraciones con instituciones académicas	Establecer asociaciones para investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.	Innovación continua y mejora en procesos y productos.	Identificación de socios y desarrollo de proyectos conjuntos.
Mercado de construcción sostenible	Aprovechar la creciente demanda de soluciones de construcción sostenibles.	Incremento en la cuota de mercado y mejora en la competitividad.	Estrategias de marketing y posicionamiento de producto.
Desarrollo de una red de distribución	Crear alianzas con empresas de construcción y distribuidores para mejorar la logística.	Optimización de la cadena de suministro y reducción de costos.	Establecimiento de relaciones comerciales sólidas.

**Nota:** elaboración propia

## 7. Métricas de Éxito y KPIs de Innovación

Para evaluar el impacto y la viabilidad del proyecto, se definen métricas de éxito y KPIs (Key Performance Indicators) que permitirán medir su rendimiento en términos de sostenibilidad, eficiencia y adopción del mercado. Se adoptará un enfoque basado en OKRs (Objectives and Key Results) para alinear los objetivos estratégicos con resultados clave medibles

### 7.1 OKRs (Objectives and Key Results) del Proyecto

Los **OKRs** son una metodología utilizada para establecer **objetivos estratégicos** y medir su progreso a través de **resultados clave**. En la siguiente tabla, se presentan los principales **OKRs** del proyecto:

Tabla 10 OKRs propuestos

<b>OKR 1</b>						
<b>Objetivo:</b> Desarrollar y optimizar la producción de bloques de concreto sostenibles a partir de relaves y roca estéril, promoviendo la economía circular en la construcción.						
No.	Meta	Estrategia	Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
1	Implementar un proceso de producción eficiente y sostenible de bloques de concreto con relaves	Diseñar un protocolo de producción optimizado	Redactar un documento con los parámetros técnicos del proceso productivo	Documento técnico aprobado y validado	Anual	Gerencia de Producción
		Validar la calidad del producto con pruebas de laboratorio	Realizar ensayos de resistencia y durabilidad en laboratorio acreditado	% de pruebas de calidad superadas / Total de pruebas realizadas * 100	Trimestral	Área de Calidad
2	Garantizar el cumplimiento normativo y la viabilidad del producto en el mercado	Realizar estudios de normativas ambientales y de construcción	Identificar y documentar los requisitos normativos para la certificación del producto	% de certificaciones obtenidas / Total de certificaciones requeridas * 100	Anual	Departamento Legal y Regulatorio
		Presentar el producto a organismos certificadores para su	Completar la documentación y proceso de certificación	Producto certificado por entidad reguladora	Una vez	Gerencia de Proyecto
3	Asegurar la adopción del producto en el mercado	Desarrollar estrategias de comercialización y sensibilización	Realizar jornadas de sensibilización con empresas constructoras	% de empresas constructoras interesadas en usar el producto / Total de	Trimestral	Área Comercial
<b>OKR 2</b>						
<b>Objetivo:</b> Minimizar el impacto ambiental y maximizar el aprovechamiento de materiales residuales en la producción de bloques.						
No.	Meta	Estrategia	Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
1	Reducir la cantidad de relaves y roca estéril depositada en vertederos	Establecer un sistema eficiente de recolección y procesamiento	Implementar un sistema de almacenamiento y selección de materiales reutilizables	% de toneladas de relaves reutilizadas / Total de toneladas de relaves generadas * 100	Trimestral	Gerencia de producción-Área de Sostenibilidad
2	Evaluar y minimizar la huella de carbono del proceso de producción	Implementar tecnologías de producción con menor impacto ambiental	Optimizar el consumo de energía y materias primas en la producción	% de reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por unidad de producción	Anual	Departamento de Innovación

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

### OKR 3

**Objetivo:** Garantizar la escalabilidad y crecimiento del modelo de negocio basado en la producción de bloques de concreto con relaves.

No.	Meta	Estrategia	Actividad	Indicador	Frecuencia	Responsable
1	Ampliar la capacidad de producción y distribución	Desarrollar nuevas alianzas estratégicas con empresas de construcción	Firmar convenios con al menos 3 empresas interesadas en la distribución del producto	Número de acuerdos comerciales firmados	Semestral	Gerencia de producción- Área Comercial
2	Explorar nuevas aplicaciones del material	Investigar el desarrollo de productos alternativos como adoquines o paneles de construcción	Diseñar y evaluar prototipos de productos derivados de la misma materia prima	Número de prototipos desarrollados y evaluados	Anual	Departamento de I+D

**Nota:** se definen 3 OKRs. Elaboración propia

### 7.2 Métricas de Innovación

Para evaluar la adopción, impacto y sostenibilidad del proyecto, se utilizarán indicadores clave de innovación, entre ellos:

Tabla 11 Métricas con 7C's de Innovación

7 C's de la Innovación	KPI	Medición	Objetivo
<b>Cultura</b>	Número de capacitaciones en innovación sostenible realizadas al equipo técnico y administrativo.	Cantidad de sesiones de formación al año.	Fomentar una mentalidad innovadora en la organización, alineada con la economía circular.
<b>Capacidad</b>	Número de procesos certificados en el uso de relaves para la fabricación de concreto.	% de certificaciones obtenidas frente a las requeridas.	Asegurar que la empresa cuenta con las habilidades y certificaciones necesarias para operar eficientemente.
<b>Configuración</b>	Nivel de optimización del proceso de producción en términos de reducción de residuos y eficiencia energética.	% de reducción de desechos en comparación con métodos tradicionales.	Diseñar un sistema de producción más eficiente y sostenible.
<b>Conexión</b>	Número de alianzas estratégicas establecidas con instituciones de investigación y empresas del sector de la construcción.	Cantidad de acuerdos de colaboración firmados en el año.	Fomentar la cooperación con otros actores clave para mejorar la innovación y adopción del producto.
<b>Creación de Valor</b>	Reducción en costos de producción en comparación con bloques de concreto convencionales.	% de ahorro en costos por unidad de producto.	Desarrollar un modelo de negocio rentable basado en la economía circular.
<b>Comunicación</b>	Alcance de campañas de sensibilización sobre la sostenibilidad y beneficios del producto en el mercado.	Número de empresas o clientes informados a través de eventos, redes sociales y material promocional.	Aumentar la visibilidad y aceptación del producto en la industria de la construcción.
<b>Cliente</b>	Nivel de adopción del producto en el mercado.	% de clientes recurrentes y volumen de ventas anual.	Garantizar que el producto cumple con las necesidades del mercado y fomentar su crecimiento sostenible.

**Nota:** elaboración propia

### 7.3. Plan de Medición y Evaluación Continua

Para garantizar la mejora continua del proyecto, se implementará un Plan de Medición y Evaluación, basado en la recopilación y análisis periódico de datos.

Tabla 12 Fases plan de evaluación

Fase	Acción Clave	Herramienta de Evaluación	Frecuencia
<b>1. Validación Técnica</b>	Medir resistencia, durabilidad y cumplimiento normativo	Ensayos de laboratorio de acuerdo a norma ASTM	Semestral
<b>2. Adopción Interna</b>	Evaluar uso en operaciones mineras de Aris Mining	Encuestas de adopción y reportes operativos	Trimestral
<b>3. Impacto Ambiental</b>	Calcular reducción de residuos y huella de carbono	Análisis de ciclo de vida y monitoreo ambiental	Anual
<b>4. Expansión del Proyecto</b>	Medir número de nuevas aplicaciones o sectores	Reporte de crecimiento y alianzas estratégicas	Anual

**Nota:** elaboración propia

Para asegurar que el proyecto evolucione de manera efectiva, se deberían implementar las siguientes estrategias:

**Figura 11** Estrategias



**Nota:** elaboración propia

El proyecto debería ser evaluado con una combinación de OKRs estratégicos, métricas de innovación y un plan de medición continua.

- El éxito del proyecto se medirá en términos de adopción del producto, impacto ambiental y eficiencia operativa.
- Los KPIs permitirán realizar ajustes en tiempo real, asegurando que la innovación sea viable y escalable.
- La evaluación continua garantiza la mejora del producto, optimizando su aceptación en

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

la industria minera y en otros sectores.

## 8. Plan de Gestión del Cambio y Adopción

La transición hacia el modelo Ecopack-Rock implicaría una transformación significativa en los procesos operativos de la mina. Para asegurar su adopción efectiva, se plantea un plan de gestión del cambio enfocado en preparar al personal, contribuir a la adaptación al cambio, y fomentar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad y la innovación. Este plan contemplaría estrategias de comunicación, capacitación y seguimiento que faciliten la integración gradual y exitosa de la nueva solución.

### 8.1 Estrategia de comunicación interna y externa

Tabla 13 Estrategia de comunicación

Nombre del Interesado	Responsable de enviar la información	Sprints	Método de comunicación	Información a comunicar	Fecha o Frecuencia de envío
Alta Gerencia – Aris Mining	Jefe del Proyecto / Líder de Innovación	Sprint final de cada fase del roadmap	Informe ejecutivo por correo	Avance del proyecto, retorno de inversión (ROI), resultados ambientales y sociales	Trimestral / 2 días después de cada entrega de fase
Comunidad local (Segovia y zonas de influencia)	Responsable de Sostenibilidad y Comunicaciones	Sprints 2, 3 y 4	Talleres participativos / boletines	Beneficios ambientales y sociales del uso de relaves, oportunidades laborales, reducción de residuos y riesgos	Mensual / Según cronograma de participación comunitaria
Autoridades ambientales (ANLA, Corantioquia)	Coordinador Ambiental	Sprint 2 y Sprint 5	Reportes / plataforma institucional	Cumplimiento de normativa ambiental, reutilización de relaves, mitigación de riesgos	Bimensual / Según requisitos regulatorios
Área de Ingeniería y Operaciones Mineras	Ingeniero Residente / Jefe de Planta	Todos los sprints	Reuniones Scrum internas	Validación técnica de bloques, cronograma de producción, adaptación en campo	Semanal (Scrum Meetings)
Equipo de Investigación e Innovación	Coordinador de Innovación	Sprint 1 y 2	Plataforma interna / actas	Pruebas de material, resultados técnicos y de durabilidad, validación de estándares	Al finalizar cada sprint
Clientes internos (personal de operación minera)	Supervisor del área de sostenimiento	Sprints 3, 4 y 5	Capacitaciones / boletines internos	Uso adecuado de bloques de concreto, comparación con uso de madera, protocolos de seguridad	Quincenal / Según avance en campo
Proveedores y aliados tecnológicos	Coordinador de Compras	Sprint 1 y 2	Reuniones virtuales / contratos	Requerimientos técnicos de equipos y materiales, cronograma de entregas	Según hitos contractuales
Universidad aliada (p.ej. U. Nacional, SENA)	Coordinador de Formación / Relaciones Académicas	Sprint 2, 3 y 4	Memorandos / correo / encuentros	Programas de formación técnica, investigación aplicada, validación	Mensual
Junta de Accionistas / Inversionistas	Dirección Financiera	Sprint final del roadmap (Sprint 5)	Informe financiero	Resultados económicos, análisis de ROI, oportunidades de escalabilidad	Al cierre del proyecto / trimestral
Medios especializados y redes sociales	Equipo de Comunicaciones	Durante todo el proyecto	Campañas / artículos / redes	Posicionamiento de Aris Mining como referente en economía circular, logros del proyecto	Bimestral / según estrategia de divulgación

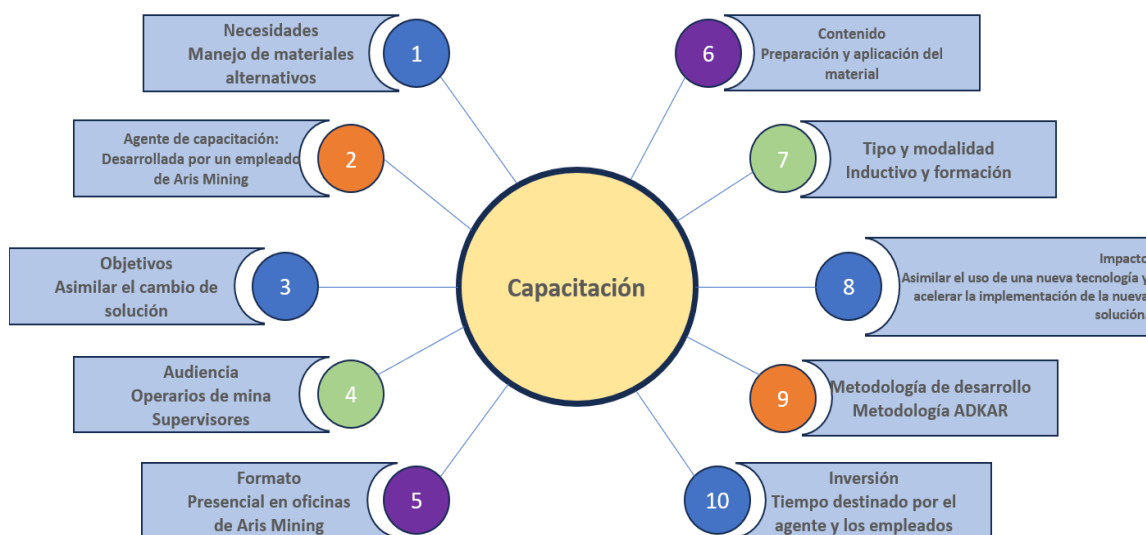
**Nota:** elaboración propia

### 8.2 Plan de Capacitación y Desarrollo de Competencias

Este plan de capacitación y desarrollo de competencias se propone como parte de una estrategia exploratoria para fortalecer los procesos relacionados con la economía circular en el sostenimiento de la mina de oro, el Silencio, con el objetivo de fomentar prácticas que minimicen el impacto ambiental y maximicen el aprovechamiento de los recursos.

La capacitación está diseñada para equipar al personal de los conocimientos y habilidades necesarios para implementar y gestionar procesos sostenibles, desde la extracción hasta la recuperación y reutilización de materiales. A través de este programa, se busca fomentar una cultura de innovación y responsabilidad ambiental alineados con la mejora continua.

**Figura 12** Plan de capacitación



**Nota:** Elaboración propia

Tabla 14. Desarrollo de competencias

Habilidades Técnicas	Habilidades Blandas
Ingeniería de materiales	Inteligencia emocional
Mecánica	Adaptabilidad
Ingeniería de procesos	Pensamiento Crítico
Prevención de riesgos laborales	Trabajo en equipo
Conciencia de seguridad	Liderazgo
Modelado y simulación	Toma de decisiones
Planificación de la producción	Creatividad e innovación

**Nota:** Elaboración propia

## 8.3 Cultura de Innovación y Mejora Continua

Tal como se relaciona en el informe de sostenibilidad del año 2023, la empresa Aris Mining esta comprometida con la innovación y la mejora continua alrededor de cuatro pilares principales en los que ha desarrollado alianzas con prestigiosas universidades y entes educativos del gobierno para fomentar prácticas de innovación que se contribuyan a la igualdad, así como también a la transformación de territorios, la seguridad de los procesos, la extensión de la vida útil de las minas y la sostenibilidad social y ambiental. (Aris Mining, 2023)

La cultura de innovación y mejora continua no solo impulsa la creatividad y la adopción de nuevas tecnologías, sino que también fomenta un entorno donde cada miembro del equipo se siente empoderado para contribuir con ideas y soluciones. A través de la implementación de prácticas innovadoras y la optimización de procesos, se busca reducir el impacto ambiental, optimizar la eficiencia operativa con el fin de asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones mineras en la mina el Silencio.

**Figura 13** Pilares de la cultura de innovación en Aris Mining



**Nota:** elaboración propia

## 9. Conclusiones y Próximos Pasos

### 9.1 Resumen de Puntos Clave

- A través del análisis del ecosistema de innovación minera, se integraron fundamentos teóricos sobre sostenibilidad, economía circular y reutilización de residuos, alineados con los ODS y políticas públicas vigentes. Estos insumos permitieron desarrollar una propuesta orientada a explorar alternativas para el sostenimiento subterráneo en la mina El Silencio
- Se documentaron las prácticas actuales de sostenimiento y se identificaron residuos disponibles en la operación minera que podrían, eventualmente, ser transformados en insumos útiles
- La propuesta Ecopack-Rock fue estructurada detalladamente, describiendo su funcionamiento, componentes y beneficios esperados frente al modelo tradicional basado en madera (Woodpack), siempre en el marco de una viabilidad sujeta a validación
- El análisis financiero preliminar sugiere que la solución podría representar un ahorro del 38%, acompañado de beneficios ambientales y sociales. No obstante, estos resultados dependen de futuras pruebas técnicas y de la aceptación operativa por parte de los usuarios. Se plantearon distintos escenarios financieros y se proyectaron impactos potenciales en términos de sostenibilidad y responsabilidad social empresarial.
- Se presenta una ruta metodológica basada en Scrum y Lean Manufacturing, con KPIs, OKRs, cronograma, matriz de riesgos y estrategia de capacitación, que permitiría escalar gradualmente la iniciativa si los resultados así lo justifican.

### 9.2 Visión a Largo Plazo y Potencial de Transformación

La implementación del modelo **Ecopack-Rock** en la mina El Silencio representa no solo una mejora puntual en los procesos de sostenimiento subterráneo, sino también un primer paso hacia una transformación estructural de la operación minera en términos de sostenibilidad,

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

innovación y responsabilidad social. Esta visión de largo plazo proyecta un camino de escalabilidad y diversificación tecnológica, con múltiples líneas de acción:

### *a. Escalabilidad a otras operaciones de Aris Mining*

Dado que la empresa cuenta con operaciones en distintos departamentos del país (Caldas, Santander y otras minas en Antioquia), el modelo tiene alto potencial de ser replicado en contextos similares, adaptando los componentes según los residuos disponibles localmente.

### *b. Industrialización del modelo Ecopack-Rock*

La estandarización y mejora de los procesos de fabricación de bloques permitiría establecer una planta modular permanente dentro del complejo minero, o incluso crear una línea de negocio paralela basada en materiales reciclados para uso en la industria minera o de construcción.

### *c. Investigación aplicada y alianzas académicas*

En el mediano y largo plazo, se propone consolidar alianzas con universidades para profundizar en el estudio de materiales alternativos, mejorar la eficiencia del proceso de mezcla y validar normativas técnicas que certifiquen el producto final.

### *d. Política interna de sostenibilidad basada en economía circular*

La experiencia derivada del proyecto puede integrarse como un lineamiento estratégico en la política corporativa de sostenibilidad de Aris Mining, generando indicadores permanentes de aprovechamiento de residuos, reducción de emisiones y eficiencia material.

### *e. Transferencia tecnológica y apoyo a terceros*

Existe potencial para extender esta tecnología a minería de pequeña y mediana escala en la región, compartiendo conocimiento, tecnología y prácticas sostenibles con comunidades locales y otras empresas del sector, con el fin de posicionar a Aris Mining como un referente en innovación social y ambiental.

## 10. Apéndices

### 10.1 Carta autorización Intervención empresarial business case

Segovia  
01 de abril del 2025

Señores,  
Trabajos de Grado  
Universidad EAN  
Santa Fe de Bogotá

Respetados señores,

Por medio de la presente nos permitimos autorizar a:

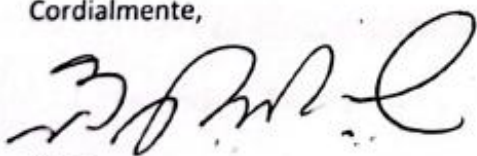
*John Jairo Niño Merchán, Erika Patricia Duarte Lesmes, Andrés Orlando Díaz Niño*  
Estudiantes del programa de maestría en *Gerencia de Proyectos* de la Universidad EAN, para que realice en nuestra organización *Aris Mining Segovia*, su trabajo de grado titulado: "Hacia una Economía Circular en la Operación Minera", bajo la modalidad de trabajo dirigido.

Como empresa nos comprometemos a brindar la información requerida para adelantar este proyecto académico, así mismo, autorizamos que el documento resultado de este trabajo sea publicado en el repositorio documental Minerva de la Universidad EAN.

A continuación, relacionamos los datos de la persona que será el contacto designado por la empresa.

REINALDO ALVARO CUESTA  
SUPERINTENDENTE DE MINA EL SILENCIO  
CONTACTO: 3183728837  
CORREO: reinaldo.alvarado@aris-mining.co

Cordialmente,



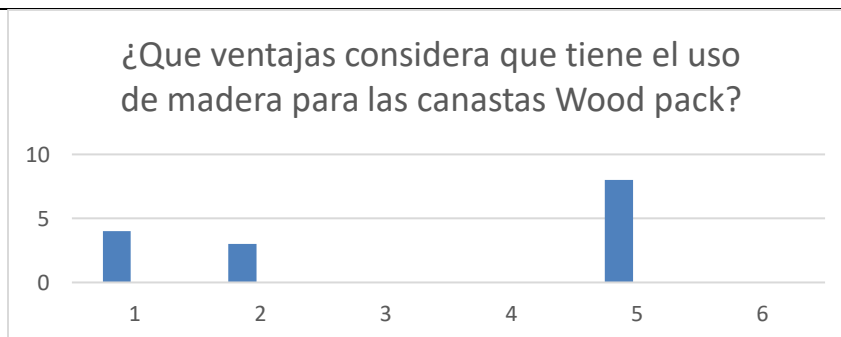
Firma

REINALDO ALVARO CUESTA  
reinaldo.alvarado@aris-mining.co

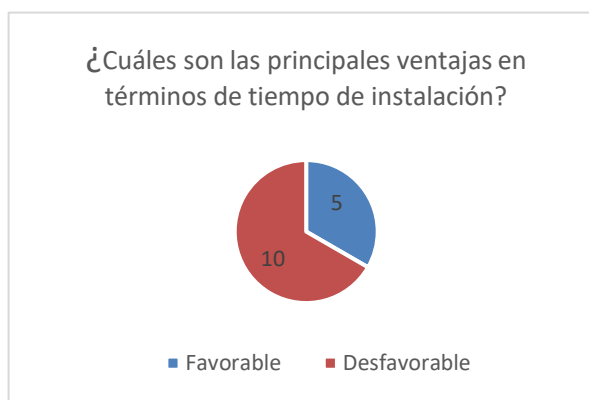
# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

## 10.2 Encuesta a realizar a trabajadores

Respuestas	1. ¿Qué ventajas considera que tiene el uso de madera para las canastas Wood pack? (Seleccione todas las que apliquen)
4	1-Fácil disponibilidad de madera
3	2-Bajo costo en comparación con otros materiales
0	3-Ligereza en comparación con otros materiales
0	4-Facilidad de manejo y transporte
8	5-Buena resistencia y durabilidad
0	6- Otro (especificar): _____

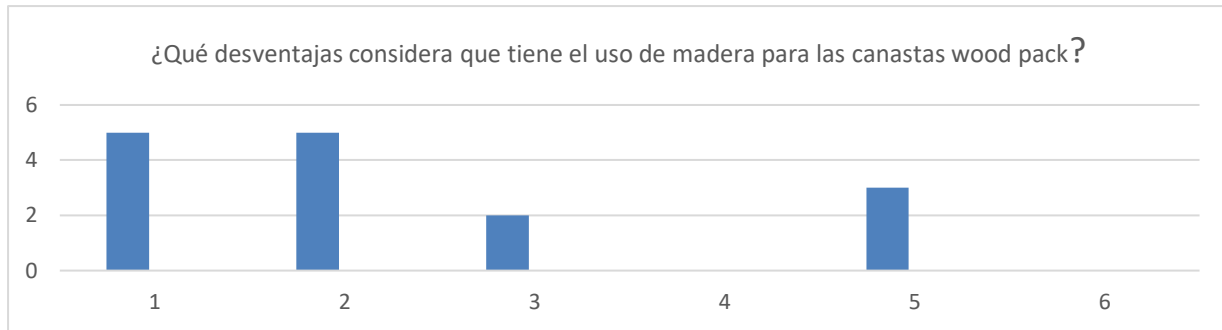


2. ¿Cuáles son las principales ventajas en términos de tiempo de instalación?	
<b>Favorable</b>	5
<b>Desfavorable</b>	10



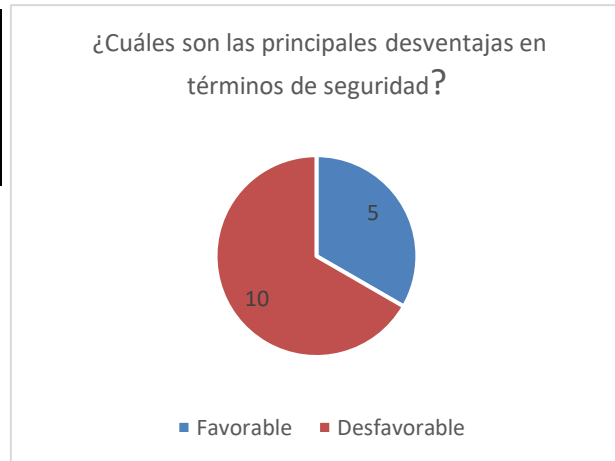
Respuestas	3. ¿Qué desventajas considera que tiene el uso de madera para las canastas Wood pack?
5	1-Peso de la madera
5	2-Dificultades en el transporte y desplazamientos
2	3-Logística complicada para el corte y manejo
0	4-Necesidad de herramientas eléctricas para el corte
3	5-Problemas de seguridad (riesgo de accidentes)
0	6-Otro (especificar): _____

# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA



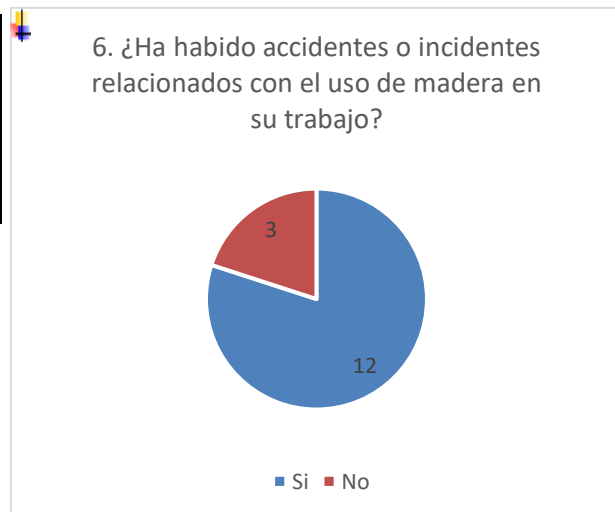
4. ¿Cuáles son las principales desventajas en términos de seguridad?

<b>Favorable</b>	5
<b>Desfavorable</b>	10



5. ¿Ha presenciado o conocido de accidentes de trabajo relacionados con el uso de madera en las canastas Wood pack?

<b>Si</b>	12
<b>No</b>	3



# HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

## Referencias

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2025). ASTM C90. *Standard Specification for Dry-Cast Loadbearing Concrete Masonry Units*.

Aris Mining. (2022). *Informe de sostenibilidad*. |

ARIS MINING. (2023). *Informe de sostenibilidad 2023*. Obtenido de <https://wp-arismining-2023.s3.ca-central-1.amazonaws.com/media/2024/08/Aris-Mining-Reporte-de-Sostenibilidad-2023-FINAL.pdf>

Aris Mining. (2023). *NI 43-101 Technical Report for the Segovia*. Vancouver.

Bnamericas. (22 de Julio de 2022). *El oro y el cobre serán protagonistas de la minería colombiana*. Obtenido de Bnamericas: <https://www.bnamericas.com/es/entrevistas/el-oro-y-el-cobre-seran-protagonistas-de-la-mineria-colombiana>

Casallas, M. y. (2016). Panorama de la minería del oro en Colombia. *Ploutos (Activa de 2011 a 2021)*, 20-26. Obtenido de <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/plou/article/view/1386>

CESCO; CircularTec; Innovación Minera del Perú; CIEC. (2022). *El arribo de la economía circular a la minería primaria de Chile, Perú y Colombia*. Universidad de Chile.

GPM Driving Sustainable Business Change. (2019). *El Estándar P5™ de GPM para La Sostenibilidad en la Dirección de Proyectos*. Estados Unidos de Norteamérica: GPM Global.

Grand Colombia Gold. (01 de AGOSTO de 2019). *Sostenimiento con Wood pack/Jacpack*. *Sostenimiento con Wood pack/Jacpack*.

Gray, D. (2012). *Game Storming*.

Interaction Design Foundation. (25 de Mayo de 2016). Obtenido de ¿Qué es el Design Thinking (DT)? Fundación de Diseño de Interacción: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking>

## HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA OPERACIÓN MINERA

Ministerio de Minas y Energía. (Marzo 2021). *Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos relacionados con "Presas de Relaves"*. Ministerio de Minas y Energía.

ONU. (s.f.). *ONU*. Obtenido de Naciones Unidas:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Osinermin. (Mayo de 2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Lima, Peru.

PMAJ . (2005). ¿Qué es la Guía estándar de gestión de proyectos, "P2M"?

Poppendieck, M., & Poppendieck, T. (2003). *Lean Software Development: An Agile Toolkit*. Addison-Wesley Professional.

Republica de Colombia. (21 de Septiembre de 2015). Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterránea. *Decreto 1886 de 2015*. Colombia. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65325>

Romero, A. A., & Flores, ). L. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 75-82.

Sutherland , J., & Schwaber, K. (noviembre de 2020). The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. *The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. Obtenido de <https://www.scrum.org/scrum-guide-2020>

Tarra, J. A., & Restrepo Baena, O. J. (25 de enero de 2024). Producción de oro en Colombia: promisorio, pero con retos por superar. *Periódico UNAL / Política y Sociedad*. Obtenido de <https://periodico.unal.edu.co/articulos/produccion-de-oro-en-colombia-promisorio-pero-con-retos-por-superar>

Zuluaga Castrillon, D. (2020). *IMPLEMENTACIÓN DE RESIDUOS MINEROS EN FORMULACIONES DE MEZCLAS PARA ELABORACIÓN DE LADRILLOS CERAMICOS*. Investigación, Universidad de Antioquia, Antioquia, Medellín.