

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



Modelo Prolab: Economía Circular en Minería: Reuso de Neumáticos Fuera de Uso como Biochar para el Desarrollo Sostenible con Impacto en la Agricultura

TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS

QUE PRESENTA:

Sheyla Teresa Chavez La Cotera
Roxana Isabel Peñaherrera Salinas

TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS

QUE PRESENTA:

Gerson Gerald Carhuapoma Miranda
Hugo Ocaña Alegre

ASESORA

Luz Andrea Lazarte Aguirre

Santiago de Surco, febrero 2026

Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, Luz Andrea Lazarte Aguirre, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado:

Modelo Prolab: Economía Circular en Minería: Reuso de Neumáticos Fuera de Uso como Biochar para el Desarrollo Sostenible con Impacto en la Agricultura

de los(as) autores(as)

Sheyla Teresa Chavez La Cotera

Roxana Isabel Peñaherrera Salinas

Gerson Gerald Carhuapoma Miranda


Hugo Ocaña Alegre

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 15%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 20/11/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 25 de noviembre de 2025

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Lazarte Aguirre, Luz Andrea</u>	
DNI: 46011910	Firma 
ORCID: 0000-0002-6312-7784	

Agradecimientos

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a la institución y al programa de maestría por brindarnos la oportunidad de fortalecer nuestras competencias profesionales y por promover una formación basada en la investigación, ética y responsabilidad social.

Agradecemos especialmente a nuestra asesora de tesis, cuya guía, experiencia y orientación constante fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Su dedicación, paciencia y compromiso académico contribuyeron significativamente a la calidad y culminación de este trabajo.



Dedicatorias

A Dios por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesaria para culminar este proceso académico y a mi esposo por su apoyo constante, motivarme a seguir avanzando y su paciencia en cada etapa de este camino.

Sheyla Teresa Chavez La Cotera

A Dios, por su infinita bondad, fortaleza y guía. A mi esposo y a mi familia, por ser mi mayor motivación, apoyo y por acompañarme siempre en este camino académico. Gracias por su paciencia y aliento, este logro también es de ustedes.

Isabel Peñaherrera Salina

A Dios, a mis padres, a mi esposa Katya y a mis hijos Luana y Leo, por rodearme de amor y felicidad en cada etapa de mi vida.

Gerson Carhuapoma Miranda

A Dios, por su guía y fortaleza. A mi esposa Joana y a mi hija, por su amor y paciencia durante todo este proceso. A mis padres y a mi familia en general, por su apoyo incondicional y por acompañarme en cada etapa de este camino. Gracias totales.

Hugo Ocaña Alegre

Resumen Ejecutivo

El manejo inadecuado de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el Perú constituye un desafío ambiental crítico que afecta la salud pública y la sostenibilidad ecológica. La acumulación de estos residuos genera contaminación del suelo, agua y aire, y evidencia brechas importantes en la implementación y supervisión de la normativa vigente. Esta situación subraya la urgencia de adoptar soluciones integrales que transformen un pasivo ambiental de alto impacto en una oportunidad de valor económico y social. En respuesta a esta problemática, el estudio propone un modelo de economía circular basado en la valorización de NFU mediante tecnología de pirólisis, capaz de convertirlos en productos de utilidad agrícola e industrial, como biochar, aceite pirolítico y acero recuperado. Este enfoque permite cerrar ciclos productivos, reducir el uso de insumos químicos en la agricultura y promover la regeneración de suelos degradados. Asimismo, la investigación incorpora la metodología Design Thinking, lo que nos permitió identificar las necesidades y expectativas de los actores claves, validar la viabilidad técnica y ambiental de la solución, y diseñar un modelo innovador alineado con prácticas sostenibles. La evaluación económica demuestra la robustez del proyecto: con una inversión inicial de S/ 881,600, se obtiene un VAN de S/ 3,438,773 y una TIR de 62%, indicadores que reflejan su rentabilidad y potencial de escalamiento. En conjunto, el estudio plantea un modelo de negocio que no solo mejora la eficiencia económica, sino que también genera beneficios sociales y ambientales. La iniciativa promueve la articulación entre empresas, gobiernos y comunidades, fomentando educación ambiental, responsabilidad social y prácticas de economía circular. Con ello, se establece un marco integral para la gestión sostenible de NFU que impulsa un desarrollo más responsable y competitivo para el país.

Abstract

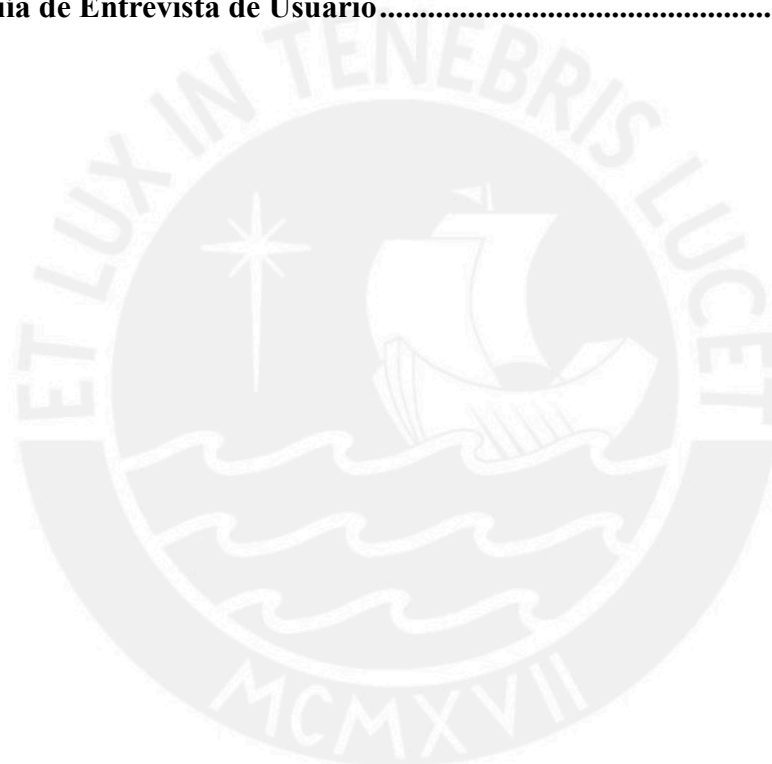
The inadequate management of End-of-Life Tires (ELT) in Peru represents a critical environmental challenge that affects both public health and ecological sustainability. The accumulation of these residues generates soil, water, and air pollution, revealing significant gaps in the implementation and enforcement of existing regulations. This situation underscores the urgency of adopting comprehensive solutions capable of transforming a high-impact environmental liability into an opportunity for economic and social value. In response to this issue, the study proposes a circular economy model based on the valorization of ELT through pyrolysis technology, which can convert them into industrial and agricultural products such as biochar, pyrolytic oil, and recovered steel. This approach enables the closure of production cycles, reduces the use of chemical inputs in agriculture, and promotes the restoration of degraded soils. Additionally, the research incorporates the Design Thinking methodology, which allowed us to identify the needs and expectations of key stakeholders, validate the technical and environmental feasibility of the solution, and design an innovative model aligned with sustainable practices. The economic assessment demonstrates the robustness of the project: with an initial investment of S/ 881,600, the proposal achieves a Net Present Value (NPV) of S/ 3,438,773 and an Internal Rate of Return (IRR) of 62%, indicators that reflect its profitability and scalability potential. Overall, the study presents a business model that not only enhances economic efficiency but also generates social and environmental benefits. The initiative encourages collaboration among companies, government entities, and local communities, fostering environmental education, social responsibility, and circular economy practices. In doing so, it establishes a comprehensive framework for sustainable ELT management that supports more responsible and competitive development for the country.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas.....	x
Lista de Figuras.....	xiii
Capítulo I: Definición del problema.....	1
1.1 Contexto del Problema.....	1
1.2 Presentación del Problema.....	4
1.3 Sustento de la Complejidad y Relevancia del Problema.....	7
Capítulo II: Análisis del Mercado	10
2.1 Descripción del Mercado o Industria.....	10
2.2 Análisis Competitivo.....	15
Capítulo III: Investigación del Usuario (Cliente)	18
3.1 Perfil de Usuario.....	18
3.2 Mapa de Experiencia de Usuario	24
3.3 Identificación de la Necesidad a Resolver para el Usuario.....	29
Capítulo IV: Diseño del Producto o Servicio	31
4.1 Concepción del Producto o Servicio.....	31
4.2 Desarrollo de la Narrativa	38
4.3 Carácter Innovador del Producto o Servicio	40
4.4 Propuesta de Valor	44
4.5 Producto Mínimo Viable (PMV).....	45
Capítulo V: Modelo de Negocio	51
5.1 Modelo de Negocio	51
5.2 Viabilidad Financiera del Modelo de Negocio	56
5.3 Escalabilidad/Exponencialidad del modelo de negocio	60
5.4 Sostenibilidad Social del Modelo de Negocio	65

Capítulo VI. Solución Deseable, Factible y Viable.....	68
6.1 Validación de la Deseabilidad de la Solución.....	68
6.1.1 Hipótesis para Validar la Deseabilidad de la Solución.....	68
6.1.2 Experimentos Empleados para Validar las Hipótesis.....	69
6.2 Validación de la Factibilidad de la Solución.....	71
6.2.1 Plan de Mercadeo	73
6.2.2 Plan de Operaciones	86
6.3 Validación de la Viabilidad de la Solución.....	101
6.3.1 Presupuesto de Inversión.....	103
6.3.2 Análisis Financiero	105
6.3.3 Simulaciones Empleadas para Validar la Viabilidad Financiera.....	116
Capítulo VII. Solución Sostenible.....	118
7.1 Relevancia Social de la Solución	118
7.2 Rentabilidad Social de la Solución.....	121
Capítulo VIII. Plan de Implementación y Cierre del Proyecto	124
8.1 Plan de Implementación y Equipo de Trabajo	124
8.2 Conclusiones	127
8.3 Recomendaciones.....	129
Referencias.....	132
Apéndices.....	145
Apéndice A: Herramientas de Pensamiento Visual Utilizadas en la Fase de Ideación..	145
Apéndice B: Identificación del Problema a Través del Esquema “¿Qué es?” y “¿Qué no es?”.....	148
Apéndice C: Mapa de Propuesta de Valor y Segmento de Clientes	149
Apéndice D: Resultados de la Pirólisis Aplicada a un Neumático OTR de 63	150

Apéndice E: Diagrama de Flujo del Proceso de Valorización de NFU Mediante Pirólisis	151
Apéndice F: Resultados de las Tarjetas de Prueba y Aprendizaje del Modelo Prolab..	152
Apéndice G: Análisis Financiero del Proyecto: Inversiones, Costos, Ingresos y Rentabilidad	157
Apéndice H: Simulación Monte Carlo para Validar Factibilidad VTVC/CAC.....	158
Apéndice I: Simulación Monte Carlo para Validar la Viabilidad Financiera VAN.....	159
Apéndice J. Guía de Entrevista de Usuario.....	160



Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparativo de Precios Promedio por Kg</i>	12
Tabla 2 <i>Principales Agentes que Requieren Soluciones para la Gestión y Valorización de NFU</i>	13
Tabla 3 <i>Principales Actores y su Enfoque Competitivo</i>	14
Tabla 4 <i>Oportunidades de Mercado</i>	14
Tabla 5 <i>Propiedades Fisicoquímicas del Biochar Reportadas en Estudios Relevantes (2021–2025)</i>	47
Tabla 6 <i>Parámetros Operativos de Pirólisis de NFU Reportados en Estudios Internacionales</i>	48
Tabla 7 <i>Especificaciones Mínimas del Producto Mínimo Viable (PMV) del Biochar y de la Planta Modular de Pirólisis Nota. Adaptado de los estudios revisados.</i>	49
Tabla 8 <i>Comparación Estructural y Agronómica de Biochar Agrícola y Biochar de Caucho</i>	49
Tabla 9 <i>Matriz Integral Max Neef de Análisis de Actores Clave y Dimensiones de Interacción (Ser, Tener, Hacer, Estar)</i>	55
Tabla 10 <i>Cálculo del TAM</i>	57
Tabla 11 <i>Cálculo del SAM</i>	58
Tabla 12 <i>Cálculo del SOM</i>	59
Tabla 13 <i>Estimación de Ingresos Potenciales por Segmento de Mercado para Biochar</i>	59
Tabla 14 <i>Fases del Plan de Expansión</i>	63
Tabla 15 <i>Justificación de ODS Enfocado al Modelo de Negocio</i>	66
Tabla 16 <i>Indicadores de Éxito (Económicos, Sociales y Ambientales)</i>	67
Tabla 17 <i>Hipótesis Identificadas</i>	69
Tabla 18 <i>Diseño Experimental para Validar las Hipótesis</i>	69

Tabla 19 <i>Métricas Principales de Validación de las Hipótesis</i>	70
Tabla 20 <i>Resultados del Experimento de Validación de Hipótesis</i>	71
Tabla 21 <i>Información Demográfica de nuestro Buyer Persona</i>	72
Tabla 22 <i>Información Profesional del Buyer Persona</i>	73
Tabla 23 <i>Calendario de Contenidos</i>	81
Tabla 24 <i>Estrategia de Relaciones Públicas B2B</i>	82
Tabla 25 <i>Presupuesto de Marketing</i>	84
Tabla 26 <i>Precio de Maquinarias para Pirólisis</i>	89
Tabla 27 <i>Personal Requerido</i>	90
Tabla 28 <i>Activos Tangibles</i>	103
Tabla 29 <i>Activos Intangibles</i>	104
Tabla 30 <i>Total de Activos</i>	104
Tabla 31 <i>Activos e Inversión</i>	104
Tabla 32 <i>Gastos Preoperativos</i>	104
Tabla 33 <i>Estructura Financiera</i>	105
Tabla 34 <i>Resumen Financiero</i>	108
Tabla 35 <i>Cantidad de Clientes</i>	109
Tabla 36 <i>Proyección de Ventas</i>	110
Tabla 37 <i>Proyección de Costo de Ventas</i>	111
Tabla 38 <i>Proyección de Gastos Administrativos</i>	111
Tabla 39 <i>Proyección de Gastos de Ventas</i>	111
Tabla 40 <i>Proyección de Estados de Resultados</i>	113
Tabla 41 <i>Proyección de Flujo de Caja Libre</i>	114
Tabla 42 <i>Escenarios Simulados para Viabilidad Financiera</i>	116
Tabla 42 <i>Resultados de la Simulación de Viabilidad Financiera</i>	117

Tabla 44 <i>Beneficios Sociales Estimados Derivados de la Implementación del Modelo</i>	
<i>Prolab</i>	122
Tabla 45 <i>Costos Sociales Asociados a Certificaciones, Capacitación y Gestión</i>	
<i>Ambiental</i>	123
Tabla 46 <i>Cálculo del Valor Actual Neto Social Considerando Beneficios, Costos y</i>	
<i>Descuento</i>	123
Tabla 47 <i>Equipo de Trabajo y Responsabilidades</i>	124
Tabla 48 <i>Cronograma General del Proyecto con las Fases, Actividades e Hitos</i>	
<i>Principales</i>	125



Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa con Zonas Críticas de Acumulación de NFU</i>	2
Figura 2 <i>Cadena de Valor de Revalorización de los NFU</i>	9
Figura 3 <i>Las 5 Fuerzas de Porter en Modelo Tipo Radar</i>	17
Figura 4 <i>Mapa de Empatía del Usuario 1 (Christian Robles)</i>	23
Figura 5 <i>Mapa de Empatía del Usuario 2 (Aurora Gamarra Vásquez)</i>	25
Figura 6 <i>Mapa de Experiencia del Usuario 1: Pensamientos y Emociones Durante el Proceso de Sensibilización hacia la Sostenibilidad</i>	27
Figura 7 <i>Mapa de Experiencia del Usuario 2: Pensamientos y Emociones durante el Proceso de Sensibilización hacia la Sostenibilidad</i>	28
Figura 8 <i>Matriz 6x6 de Ideación para la Gestión Sostenible de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)</i>	33
Figura 9 <i>Matriz Impacto/Costos para la Priorización de Alternativas Sostenibles</i>	34
Figura 10 <i>Necesidades Identificadas para la Conversión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)</i>	34
Figura 11 <i>Diagrama del Proceso</i>	37
Figura 12 <i>Socios Estratégicos Clave y su Rol</i>	53
Figura 13 <i>Impacto Potencial de los Socios Estratégicos en el Negocio</i>	54
Figura 14 <i>Escenarios de Crecimiento Operativo y Proyecciones Financieras</i>	60
Figura 15 <i>Indicadores de Escalabilidad del Negocio</i>	61
Figura 16 <i>Factores Clave del Modelo de Negocio y Potencial de Crecimiento</i>	62
Figura 17 <i>Lienzo EXO del Modelo de Reciclaje de NFU</i>	64
Figura 18 <i>Matriz para Priorizar la Hipótesis</i>	68
Figura 19 <i>Desarrollo del Experimento para Validar las Hipótesis</i>	70
Figura 20 <i>Imagen del Buyer Persona</i>	72

Figura 21 <i>Matriz de Posicionamiento del Biochar (Mercado Agrícola)</i>	75
Figura 22 <i>Objetivos del plan de Marketing</i>	76
Figura 23 <i>Estrategia de las 4 P's del Marketing Mix</i>	77
Figura 24 <i>Elección de Estrategias de Marketing a seguir</i>	78
Figura 25 <i>Expectativas de la combinación de Marketing de Contenidos y Relaciones</i> <i>Públicas B2B</i>	79
Figura 26 <i>Pilares de la Implementación del Marketing de Contenidos</i>	80
Figura 27 <i>Taller 1 para Alquilar Urbania</i>	87
Figura 28 <i>Taller 2 para Alquilar Urbania</i>	87
Figura 29 <i>Organigrama</i>	91
Figura 30 <i>Pasos del Proceso Productivo</i>	96
Figura 31 <i>Cadena de Valor</i>	100
Figura 32 <i>Service Blue Print</i>	102
Figura 33 <i>Flourishing Business Canvas que Integra los Elementos Económicos, Sociales y</i> <i>Ambientales del Modelo Propuesto</i>	120
Figura 34 <i>Representación Gráfica del Cronograma de Implementación por Actividades y</i> <i>Meses</i>	126
Figura A 1 <i>Pensamiento Visual</i>	145
Figura A 2 <i>Pensamiento Abductivo</i>	146
Figura A 3 <i>Pensamiento Creativo</i>	147

Capítulo I: Definición del problema

En el presente capítulo se introduce la problemática ambiental y social relacionada con la acumulación de neumáticos fuera de uso (NFU), especialmente en zonas de influencia minera, a través del análisis del contexto actual y de la presentación de un enfoque innovador de revalorización, se plantea una propuesta de solución que busca transformar un residuo altamente contaminante en un insumo agrícola sostenible como el biochar. Esta sección establece la relevancia del problema, los desafíos que enfrenta su gestión, así como la necesidad de conectar la economía circular con el desarrollo sostenible.

1.1 Contexto del Problema

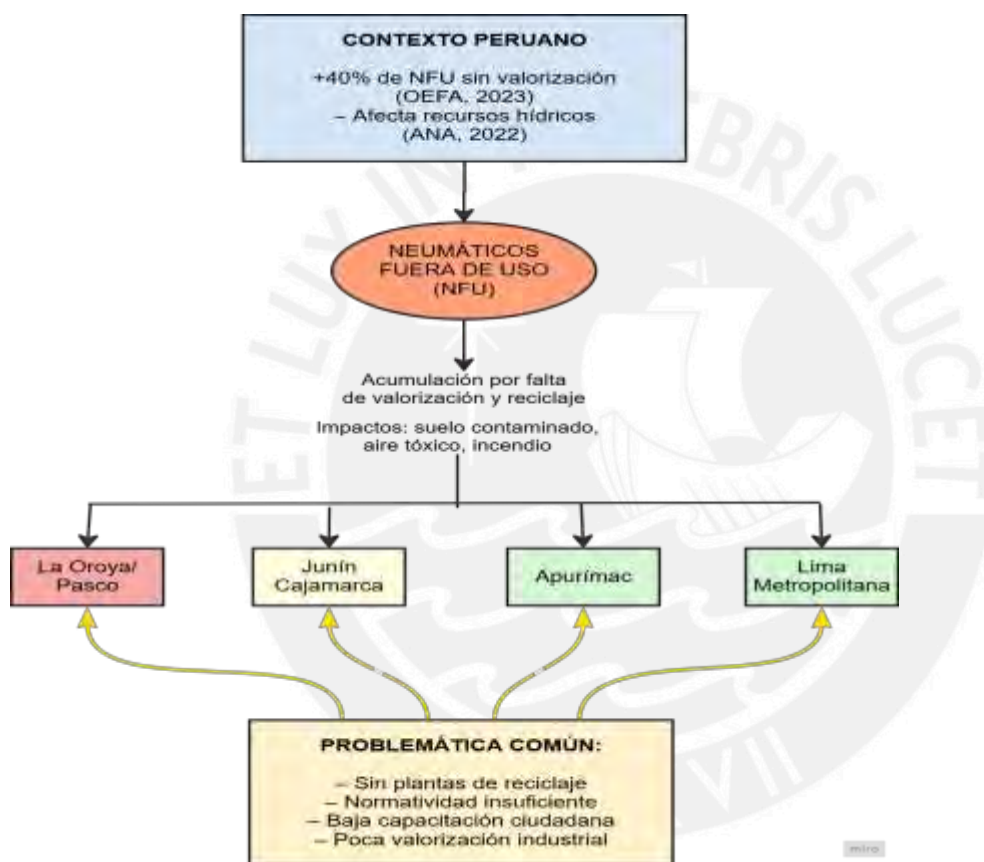
El problema de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) es de carácter global, con más de 2 mil millones de unidades generadas cada año, de las cuales una gran parte no se gestiona adecuadamente. Según Afash et al. (2023), la pirólisis es una de las tecnologías más eficientes para la valorización de NFU, con rendimientos de aceite del 45.6 % y un poder calorífico de hasta 35–45 MJ/kg, contribuyendo así a reducir emisiones y dependencia de combustibles fósiles, estos hallazgos respaldan la viabilidad ambiental y económica del proyecto propuesto en el contexto peruano. La acumulación de neumáticos fuera de uso en el Perú no solo se limita en el sector minero, sino también en otras regiones donde hay presencia masiva de NFU que impacta en los recursos hídricos por lixiviación de contaminantes, afectando la calidad del agua y la salud ambiental (ANA, 2022).

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) reporta 918 infracciones por residuos sólidos. Por otro lado, se observa 14,289 UIT en multas por residuos sólidos, el cual incluye la disposición inadecuada de neumáticos fuera de uso como gestión inadecuada de residuos sólidos. Según el registro público del OEFA (2025) más del 40 % de los NFU a nivel nacional carecen de planes de valorización o disposición final adecuada, lo que incrementa los riesgos ambientales y económicos para las empresas

infractoras. Las multas pueden superar las 50 Unidades Impositivas Tributarias (UIT), lo que demuestra la urgencia de implementar estrategias sostenibles de reúso y valorización (OEFA, 2025). En la Figura 1 se muestra un mapa de zonas críticas de acumulación de NFU, integrando registros de incidentes e infracciones ambientales del OEFA (2019 - 2024).

Figura 1

Mapa con Zonas Críticas de Acumulación de NFU



Nota. Tomado de Metodología: Integración de registros públicos de OEFA (2019 – 2024), reportes municipales.

Las zonas críticas identificadas corresponden a Cajamarca, Junín, Arequipa y Apurímac, regiones con mayor concentración de NFU debido a la actividad minera y al transporte pesado. Asimismo, el biochar obtenido mediante pirólisis de NFU ha demostrado mejorar la estructura física y química de los suelos agrícolas, incrementando su porosidad y capacidad de retención de agua. De acuerdo con Mendis, et al. (2021) la incorporación de

biochar derivado de caucho natural reduce la densidad aparente del suelo y mejora su aireación, lo que favorece el desarrollo radicular y la productividad de cultivos.

Estas condiciones reflejan una amenaza ambiental latente, y la ausencia de un enfoque de economía circular efectivo. A pesar de la existencia del D.S. N.º 024-2021-MINAM, la implementación de estrategias de valorización es aún limitada y desigual entre regiones, lo que perpetúa la acumulación de NFU y sus efectos sobre los ecosistemas locales. Los NFU representan una grave amenaza ambiental en las zonas mineras peruanas debido a su impacto en el suelo, el agua y el aire. Estos residuos contienen compuestos químicos y metales pesados que, al degradarse, pueden filtrarse en el suelo y contaminar cuerpos de agua cercanos, poniendo en riesgo la biodiversidad y el consumo humano (TNU, 2023). En regiones mineras, donde muchas comunidades dependen de fuentes hídricas locales, esta problemática agrava la escasez de agua potable.

Además, los NFU son altamente inflamables y, una vez incendiados, pueden arder durante largos períodos, emitiendo sustancias tóxicas como dioxinas, furanos y óxidos de azufre. Estos contaminantes afectan la calidad del aire y pueden provocar enfermedades respiratorias en las poblaciones cercanas (Retema, 2023). En localidades mineras como Cerro de Pasco y La Oroya, donde ya existen serios problemas de contaminación atmosférica, la quema incontrolada de NFU agrava aún más la situación. Otro desafío significativo es la dificultad de degradación de los NFU, ya que pueden tardar más de 500 años en descomponerse de manera natural, contribuyendo a la saturación de vertederos y espacios naturales (Vicanfu, 2023). En Perú, muchas empresas mineras almacenan estos neumáticos de manera indefinida, sin una estrategia clara de reutilización o disposición final, lo que incrementa los riesgos ambientales y de salud pública. Varios estudios muestran las causas que han identificado a los problemas relacionados a los NFU que fueron anteriormente mencionados. Empezando por un marco normativo deficiente, donde la falta de una

legislación robusta y la escasa fiscalización contribuyen a la ineficacia del manejo de los NFU. A pesar de normativa existente, como el Decreto Supremo 024-2021-MINAM, la cual su objetivo es regular la recolección, almacenamiento, transporte, valorización y disposición final de los NFU de manera ambientalmente responsable, las mismas que no son implementadas (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021).

Asimismo, según el informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la insuficiencia de plantas de reciclaje especializadas limita las opciones para el tratamiento de NFU, resultando en una gestión inadecuada de estos residuos (PNUMA, 2022). Otra causa es la baja concientización y capacitación, tanto en el ámbito empresarial como ciudadano, donde la poca importancia del reciclaje de NFU entre empresas y ciudadanos contribuye a prácticas inadecuadas de disposición. Algunos autores plantean que programas educativos y campañas de sensibilización son esenciales para el cambio de comportamiento (Vásquez, et al., 2020). La ausencia de políticas que fomenten la inversión en la infraestructura de reciclaje de NFU también es un factor crítico. La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) aboga por incentivos económicos que promuevan la transición hacia una economía circular en la gestión de residuos.

1.2 Presentación del Problema

La falta de insumos accesibles y sostenibles para el mejoramiento de suelos representa un obstáculo económico importante para pequeños agricultores, especialmente en zonas de influencia minera donde la calidad del suelo se encuentra comprometida por actividades extractivas. El biochar, derivado del reciclaje de NFU mediante pirólisis, surge como una alternativa con potencial para mejorar la retención de nutrientes, la estructura del suelo y la productividad agrícola, al tiempo que disminuye la dependencia de fertilizantes sintéticos costosos (Gonzales & Soto, 2022). La acumulación de NFU en el Perú constituye un problema ambiental de alcance nacional, con focos críticos en regiones como Cajamarca,

Junín, Arequipa y Apurímac, identificadas en la Figura 1 como zonas de alta concentración de estos residuos (OEFA, 2023).

La disposición inadecuada de NFU genera impactos directos en el suelo, el aire y los recursos hídricos, afectando la salud y el bienestar de las poblaciones locales. De acuerdo con el Reporte de Fiscalización Ambiental del OEFA (2023), más del 40 % de los NFU carecen de tratamiento o valorización final. A nivel global, estudios recientes destacan que los NFU mal gestionados son una fuente importante de contaminación atmosférica y liberación de microplásticos, los cuales persisten durante décadas y afectan la calidad de suelos agrícolas (Afash et al., 2023). En Perú, la falta de infraestructuras para su valorización y la limitada fiscalización en regiones mineras amplifican este problema. En Cajamarca y Junín se han identificado depósitos informales de NFU cercanos a cuerpos de agua, mientras que en Arequipa y Apurímac predominan las quemadas a cielo abierto que liberan gases tóxicos y partículas contaminantes. En el caso de Huaraz, la confluencia de minería, transporte y agricultura intensiva aumenta la vulnerabilidad de los agricultores debido a la pérdida de fertilidad del suelo y la contaminación de fuentes hídricas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2022; Retema, 2023).

Frente a esta situación, el aprovechamiento de estos residuos mediante pirólisis para la generación de biochar representa una alternativa sostenible que permite transformar un pasivo ambiental en un insumo agrícola regenerativo. Este proceso, además de reducir el volumen de residuos sólidos, produce materiales con propiedades valiosas para la recuperación de suelos degradados y la mitigación del cambio climático (Mendis et al., 2021). El biochar, producto de la valorización térmica de residuos, mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de agua y nutrientes, y contribuye al secuestro de carbono (Afshar et al., 2024). Asimismo, esta innovación se alinea con los objetivos del Decreto Supremo 024-2021-MINAM, que promueve la gestión responsable y valorización de NFU

(Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021). La valorización de NFU como biochar representa una innovación de alto costo, alta eficiencia y aplicabilidad local, que puede integrarse a planes de desarrollo rural con impacto ambiental positivo.

El abordaje del problema de los NFU en el sector minero requiere una combinación de pensamiento visual, abductivo y creativo tal como lo hemos ilustrado en el Apéndice A. Mientras el pensamiento visual facilita la comprensión del problema y la comunicación de ideas, el pensamiento abductivo permite inferir soluciones a partir de datos existentes. Finalmente, el pensamiento creativo abre nuevas posibilidades de reutilización y aprovechamiento de los NFU, transformando un desafío ambiental en una oportunidad de innovación sostenible. La combinación de estos enfoques puede llevar a la implementación de soluciones eficientes y escalables en la industria minera.

El pensamiento visual permitió representar y estructurar ideas mediante imágenes, diagramas y elementos gráficos. Diversas ilustraciones y esquemas que reflejan aspectos clave de la problemática de los NFU en el sector minero. Se pueden observar en las imágenes los neumáticos acumulados, procesos de reciclaje y representaciones de impacto ambiental, facilitando la comprensión del problema. A través, de mapas visuales se ilustran posibles rutas de reutilización y gestión eficiente de los NFU, permitiendo a los involucrados visualizar el impacto de cada decisión. El pensamiento visual es clave para simplificar la complejidad del problema y facilitar la comunicación entre distintos actores, desde gestores mineros hasta responsables de sostenibilidad (ver Apéndice A, Figura A1).

Por su parte, el pensamiento abductivo se basa en inferir explicaciones y posibles soluciones a partir de observaciones y datos disponibles. En la imagen se puede ver cómo se construyen hipótesis sobre el tratamiento de los NFU. Se presentan imágenes y explicaciones sobre el impacto ambiental, lo que permite inferir la necesidad de una solución efectiva. Establecen relaciones lógicas entre los efectos negativos de los NFU y las estrategias de

mitigación, generando nuevas posibilidades de gestión. El pensamiento abductivo permite formular soluciones innovadoras basadas en el análisis de evidencias, sin requerir pruebas concluyentes inmediatas (ver Apéndice A, Figura A2). Finalmente, el pensamiento creativo es esencial para desarrollar soluciones innovadoras que transformen los NFU en oportunidades de valor. Se observa el uso de representaciones físicas, como modelos construidos con LEGO u otros materiales, para prototipar ideas. Se emplea la metodología de prototipado rápido para visualizar posibles aplicaciones de los NFU en un entorno minero. El enfoque facilita identificar oportunidades innovadoras a partir de la problemática de los NFU, permitiendo desarrollar soluciones sustentables y aplicables a gran escala (ver Apéndice A, Figura A3).

Este análisis se complementa con el esquema “¿Qué es?” y “¿Qué no es?”, presentado en el Apéndice B, el cual permitió delimitar conceptualmente la problemática y orientar la identificación del desafío central del proyecto. A partir de los pensamientos desarrollados, se presenta como principal desafío la ausencia de una gestión eficiente y sostenible de los NFU en el sector minero. A diferencia de otros residuos industriales, los neumáticos usados presentan características que dificultan su degradación natural, lo que contribuye a la generación de pasivos ambientales en zonas mineras. Además, su eliminación mediante métodos como la quema de los neumáticos puede liberar contaminantes peligrosos, incluyendo hidrocarburos y metales pesados, con impactos gravemente negativos en la calidad del aire y la salud pública principalmente de los pueblos aledaños (García & Torres, 2021). Frente a esta problemática, la implementación de estrategias de reciclaje y valorización de NFU se vuelve una prioridad para mitigar su impacto ambiental y promover prácticas más sostenibles en la industria minera.

1.3 Sustento de la Complejidad y Relevancia del Problema

El manejo inadecuado de los NFU en el sector minero representa un gran desafío ambiental y logístico de gran envergadura. La diferencia de los NFU en comparación con

otros residuos industriales es que poseen una composición altamente resistente a la degradación natural debido a su contenido de polímeros sintéticos y refuerzos metálicos, lo que prolonga su persistencia en el medio ambiente (Torretta et al., 2015). Su acumulación en zonas mineras no sólo genera pasivos ambientales, sino que también limita el aprovechamiento de áreas para otras actividades económicas y ecológicas (Mendoza et al., 2020). Uno de los métodos más utilizados para la eliminación de NFU en zonas mineras ha sido la incineración a cielo abierto, lo que genera graves riesgos ambientales y sanitarios. Según estudios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, 2019), la quema de neumáticos libera contaminantes peligrosos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dioxinas y metales pesados, los cuales pueden generar efectos adversos en la calidad del aire y la salud pública, particularmente en comunidades cercanas a los depósitos de NFU (García & Torres, 2021).

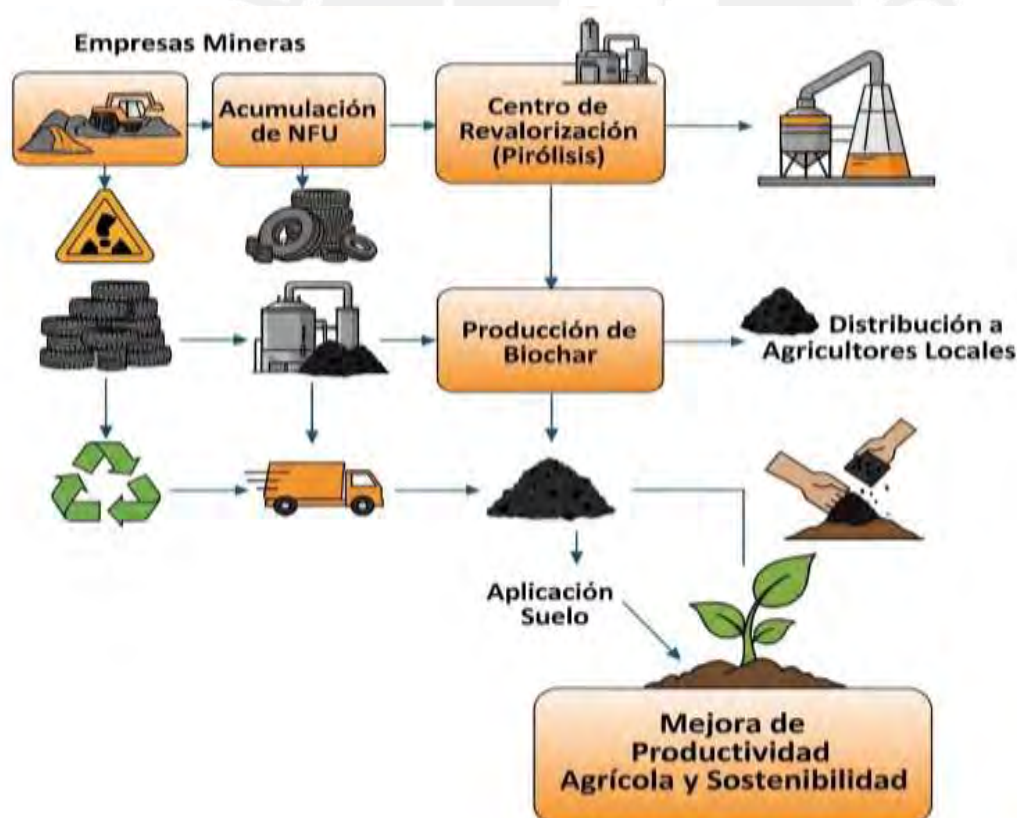
Ante esta problemática, la implementación de estrategias sobre reciclaje y valorización de NFU está buscando alternativas viables y sostenibles. En diversos países, se han desarrollado iniciativas de economía circular para transformar estos residuos en materiales reutilizables, como asfaltos modificados, combustibles alternativos en cementeras o componentes en la fabricación de nuevos neumáticos (González et al., 2022). La valorización energética mediante pirólisis, por ejemplo, permite la recuperación de hidrocarburos y negro de humo, minimizando la generación de residuos y promoviendo una gestión más eficiente de los NFU en la industria minera (Sienkiewicz et al., 2017).

El manejo de NFU en Perú representa un problema ambiental, y una cadena de valor subutilizada con potencial transformador. En la figura 2 se representa visualmente la conexión entre el origen del residuo de NFU y las etapas del proceso: recolección, transporte, pirólisis, obtención de biochar y distribución al sector agrícola. Este modelo se construyó a partir de la revisión de literatura técnica y experiencias de valorización de neumáticos

documentadas por Han et al. (2023) y OEFA (2022). La cadena evidencia la oportunidad de conectar la industria minera con la agricultura sostenible a través de la economía circular, generando beneficios ambientales, sociales y económicos. Este ciclo virtuoso aún no es aprovechado de manera articulada. La implementación de centros regionales de valorización permitiría no solo reducir el impacto ambiental, sino también dinamizar las economías rurales, al generar empleos verdes y fomentar prácticas agrícolas regenerativas. El vínculo entre residuos industriales y soluciones agrícolas sostenibles es una vía clara hacia una economía circular descentralizada, con impactos positivos medibles en los ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres).

Figura 2

Cadena de Valor de Revalorización de los NFU



Capítulo II: Análisis del Mercado

En el presente capítulo se examina el mercado potencial para la valorización de neumáticos fuera de uso (NFU), especialmente mediante su transformación en biochar como insumo agrícola sostenible, dónde a partir del análisis del contexto nacional se identifican los actores claves, las tendencias del mercado, la demanda emergente por soluciones circulares y las oportunidades que ofrece este modelo de negocio. Asimismo, se incluye un análisis competitivo basado en el modelo de las cinco fuerzas de Porter que permite visualizar el posicionamiento estratégico del biochar frente a alternativas existentes en el mercado de mejoradores de suelo.

2.1 Descripción del Mercado o Industria

El mercado de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en Perú está en crecimiento constante debido al incremento del parque automotriz y la expansión de la actividad minera. La minería, como sector estratégico del país, es una de las principales fuentes de generación de NFU, ya que emplea neumáticos de gran tamaño, conocidos como Off-the-Road (OTR), cuya vida útil es limitada, oscilando entre 6 y 12 meses (Ministerio del Ambiente, 2023). Según un estudio publicado en la revista Minería, (2021) cada año se generan miles de toneladas de neumáticos usados en el país, de los cuales aproximadamente el 50% proviene del sector minero, principalmente de camiones de gran tonelaje.

La gestión de los NFU en el Perú representa un desafío tanto ambiental como económico debido al alto volumen de generación y la limitada infraestructura para su adecuada disposición y valorización (MINAM, 2021). En este contexto, distintos actores clave, incluyendo empresas mineras, el sector transporte, entidades gubernamentales y empresas especializadas en reciclaje, impulsan la demanda de soluciones innovadoras y sostenibles para el manejo eficiente de los NFU (JCH Comercial SA, 2022). La necesidad de cumplir con las normativas ambientales y reducir los impactos negativos en el ecosistema ha

convertido este mercado en un espacio competitivo y en constante evolución.

El biochar es un material carbonoso, poroso y estable, obtenido por la pirólisis de biomasa o residuos orgánicos en condiciones de baja presencia de oxígeno, que actúa como enmienda del suelo y contribuye a la mejora de la retención hídrica, aumento de materia orgánica y captura de carbono. Funciona como enmienda del suelo, mejorando la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico (CEC) y la estabilidad de la materia orgánica, además de contribuir al secuestro de carbono en suelos agrícolas (Afshar et al., 2024; Varkolu et al., 2025). Granatstein et al. (2009) señalaron que el biochar puede contener entre 60 % y 87 % de carbono, con costos de producción cercanos a 0,076 USD/kg, lo que lo convierte en una alternativa económicamente viable para regiones en desarrollo. Estos datos respaldan la viabilidad de escalar el proceso en el contexto peruano, donde la demanda de insumos agrícolas sostenibles está en crecimiento.

Las propiedades del biochar dependen de la materia prima utilizada y de las condiciones de pirólisis, lo que determina su aplicabilidad en distintos tipos de suelo (Li et al., 2023). El mercado del biochar en Perú aún es incipiente, pero con alto potencial de crecimiento, especialmente en zonas mineras y agrícolas afectadas por degradación de suelos y escasez de materia orgánica, su adopción se asocia a prácticas de agricultura regenerativa y a la demanda de soluciones circulares por parte de industrias extractivas que buscan reducir su huella ambiental. Además, estudios de Mendis et al. (2021) confirmaron que el biochar derivado de caucho natural mejora la estructura física del suelo, reduce su compactación y aumenta la infiltración, incrementando la eficiencia del riego y la resiliencia frente a sequías. Estas propiedades aumentan su atractivo comercial para productores rurales y programas de sostenibilidad ambiental.

A nivel nacional, el mercado del biochar aún es incipiente, pero en crecimiento, principalmente impulsado por iniciativas académicas, ONG y proyectos piloto con

comunidades agrícolas. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM 2023), existe una demanda potencial de más de 8,000 toneladas anuales de mejoradores del suelo en zonas altoandinas degradadas, donde el biochar podría cubrir parte de esa brecha. Actualmente, el precio de mercado del biochar en Perú oscila entre S/ 4.50 y S/ 7.00 por kilogramo, dependiendo del grado de activación y granulometría (Gonzales & Soto, 2022). Este diferencial de precio refleja no solo el valor funcional del biochar, sino también su impacto ambiental positivo y su potencial para acceder a incentivos por servicios ecosistémicos (ver Tabla 1. Comparativo de precios promedio por kg). Demanda de Soluciones para NFU. En la Tabla 2 se presentan los principales agentes que requieren soluciones para la gestión y valorización de NFU.

Tabla 1

Comparativo de Precios Promedio por Kg

Producto	Precio estimado (S/)	Fuentes
Biochar activado	6.50 – 7.00	LivingChar (2024); Biorfe (2024)
Compost orgánico	1.80 – 2.50	Reportes de mercado 2023–2025
Humus de lombriz	2.00 – 3.20	Catálogos comerciales 2024
Fertilizante NPK sintético	3.50 – 5.50	Distribuidores agrícolas 2024

Nota. Los precios fueron obtenidos de plataformas comerciales peruanas y extranjeras (2023–2025).

Tabla 2*Principales Agentes que Requieren Soluciones para la Gestión y Valorización de NFU*

Principales agentes	Soluciones para la gestión y valorización de NFU
Empresas Mineras	Se estima que las operaciones mineras generan hasta el 70% de los NFU en el país, Convirtiéndolas en actores clave para impulsar soluciones sostenibles para su eliminación y reutilización (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2023). La implementación de estrategias de economía circular en este sector es fundamental para mitigar el impacto ambiental de estos residuos
Municipalidades y Gobiernos Regionales	La acumulación descontrolada de NFU en espacios públicos constituye un problema ambiental y sanitario. Por ello, las autoridades locales requieren infraestructura y políticas efectivas para su adecuada gestión, reduciendo así los riesgos de contaminación del suelo y la proliferación de vectores de enfermedades
Cementerías y Empresas de Energía	La industria cementera y energética ha encontrado en los NFU una fuente viable de combustible alternativo para sus procesos industriales, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la disminución de emisiones de CO ₂ . Empresas como UNACEM y Cementos Pacasmayo han integrado esta práctica en su matriz energética, logrando beneficios tanto económicos como ambientales (UNACEM Reporte de Sostenibilidad, 2023).
Empresas de Reciclaje	La transformación de NFU en insumos para la construcción y la manufactura representa una oportunidad clave para la economía circular. Productos derivados como asfaltos modificados, pisos de caucho y mobiliario urbano permiten maximizar el valor de los residuos, generando un impacto positivo en la sostenibilidad del sector industrial
Industria del Transporte y Automotriz	Las empresas dedicadas al reencauche buscan extender la vida útil de los neumáticos, reduciendo costos operativos y minimizando el desperdicio de materiales. Esta práctica contribuye a una gestión más eficiente de los NFU y promueve la adopción de modelos de producción más sostenibles.
Consumidores y Emprendimientos Locales	Existe un creciente interés en la reutilización de NFU reciclados para la fabricación de productos innovadores, como calzado, mobiliario y elementos decorativos. Este sector emergente representa una oportunidad para la diversificación de usos de los NFU y el desarrollo de nuevas iniciativas empresariales

Oferta de mercado. El mercado peruano de NFU es emergente y presenta una competencia creciente entre empresas dedicadas a la valorización de neumáticos, donde se presenta los principales actores y su enfoque competitivo (ver tabla 3).

Oportunidades de mercado. Impulsadas por factores ambientales, regulatorios y tecnológicos (ver tabla 4).

Tabla 3*Principales Actores y su Enfoque Competitivo*

Empresa	Tipo de Gestión	Ubicación	Capacidad
Inversiones Ambientales Camed S.A.C.	Pirólisis	Arequipa	10 toneladas/día
UNACEM	Co-procesamiento	Lima	Uso en hornos de clinker
Cementos Pacasmayo	Co-procesamiento	Trujillo	Uso en hornos de clinker
Goodyear / Michelin	Reencauche	Nacional	Extensión de vida de neumáticos

Tabla 4*Oportunidades de Mercado*

Economía Circular	El marco normativo peruano promueve la economía circular, incentivando la recuperación de materiales y minimizando el impacto ambiental. El Régimen Especial de Gestión y Manejo de NFU (D.S. N° 024-2021-MINAM) establece responsabilidades para los productores, alineándose con estos principios (Ministerio del Ambiente, 2021)
Innovaciones Tecnológicas	Empresas que implementen tecnologías avanzadas para el reciclaje de NFU, como la producción de biochar y fertilizantes, pueden abrir nuevos flujos de ingresos y contribuir significativamente al manejo sostenible de residuos (Vásquez et al., 2020).
Incentivos Económicos	El gobierno y entidades públicas están comenzando a ofrecer subvenciones y beneficios fiscales a aquellas empresas que adopten prácticas sostenibles, generando un entorno favorable para inversiones en tecnologías de gestión de NFU. (EY, 2023).
Infraestructura Insuficiente	A pesar de los avances en normativas, la infraestructura necesaria para la recolección y procesamiento de NFU es débil. La falta de instalaciones adecuadas nos limita la efectividad del cumplimiento de las normativas (OEFA, 2022).
Baja Fiscalización	Existe una debilidad bastante grande en la supervisión y cumplimiento de normativas existentes, lo que permite a algunas empresas operar fuera de los estándares exigidos. Esto ha creado un mercado donde la competencia leal se ve comprometida (Vásquez et al., 2020).
Costos Altos de Innovación	La inversión inicial en tecnologías de reciclaje puede ser significativamente elevada, lo que desincentiva a algunas empresas a implementar prácticas sostenibles. Este desafío podría mitigarse mediante mayores incentivos gubernamentales (Reducir Plástico, 2023).

2.2 Análisis Competitivo

El mercado del biochar derivado de neumáticos fuera de uso (NFU) presenta una estructura competitiva emergente en Perú, influenciada por factores tecnológicos, regulatorios y de sostenibilidad. A continuación, se realiza un análisis de las Cinco Fuerzas de Porter que permite comprender la estructura competitiva del mercado del biochar derivado de NFU y sus implicancias estratégicas:

Amenaza de Nuevos Entrantes. La entrada de nuevos competidores depende principalmente de la inversión inicial, los permisos ambientales y la disponibilidad de NFU. En el contexto nacional, la implementación de plantas de pirólisis requiere una inversión significativa y el cumplimiento de estrictos requisitos ambientales establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023). Estas barreras reducen la posibilidad de entrada masiva; sin embargo, la aparición de tecnologías modulares de pirólisis y la creciente demanda de soluciones circulares facilitan la incorporación progresiva de nuevos actores (Han et al., 2023). En este sentido, la amenaza de nuevos entrantes se considera moderada, dado que la inversión es alta, pero la oportunidad de innovación y los incentivos gubernamentales pueden atraer nuevas empresas.

Poder de Negociación de los Proveedores. Los proveedores de NFU en Perú son principalmente empresas mineras, de transporte. La concentración de la oferta y los altos costos de transporte otorgan a estos agentes un poder de negociación considerable. En regiones andinas, las compañías mineras controlan entre el 60 % y 70 % de los NFU, lo que limita la disponibilidad de materia prima y eleva los costos de adquisición (OEFA, 2025; Retema, 2023). Esta situación convierte al abastecimiento en una variable crítica del modelo de negocio, por lo que el poder de los proveedores se evalúa como alto.

Poder de Negociación de los Clientes. Los clientes finales del biochar son productores agrícolas, cooperativas y distribuidores que buscan soluciones efectivas y

accesibles para la mejora del suelo. Aunque la sensibilidad al precio es elevada en zonas rurales, el biochar ofrece ventajas sostenibles frente a productos tradicionales como el compost o los fertilizantes NPK, al mejorar la estructura del suelo y aumentar la retención de nutrientes (Mendis, Walpola, & Kumarasinghe, 2021; Afshar et al., 2024). La diferenciación del producto junto con certificaciones ambientales, reduce la presión de los compradores. Por tanto, esta fuerza se considera media, con un poder limitado en pequeños agricultores, pero mayor entre distribuidores especializados.

Amenaza de Productos Sustitutos. Existen sustitutos directos como el compost, humus de lombriz o fertilizantes químicos, que tienen precios más bajos y mayor reconocimiento en el mercado. No obstante, el biochar posee beneficios técnicos que lo distinguen, como la capacidad de secuestrar carbono y mejorar la productividad del suelo a largo plazo (Varkolu et al., 2025; Li et al., 2023). Estos atributos reducen el riesgo de sustitución, aunque la competencia por precios aún representa un desafío. En consecuencia, la amenaza de productos sustitutos se considera media a alta.

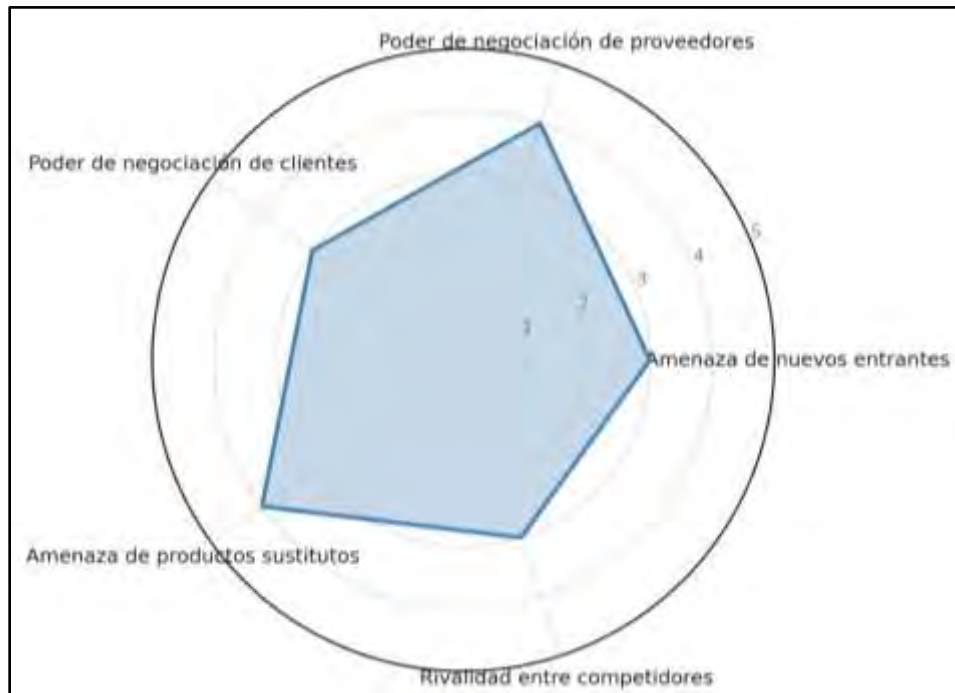
Rivalidad entre Competidores Existentes. La industria de valorización de NFU mediante pirólisis se encuentra en una fase inicial, con pocas empresas operando a escala comercial. La rivalidad depende de la capacidad instalada, la diferenciación tecnológica y la obtención de certificaciones ambientales. Las compañías que logren establecer alianzas con el sector minero y demostrar impactos ambientales positivos contarán con una ventaja competitiva significativa (MINAM, 2023; OEFA, 2023). Debido a la baja madurez del mercado y a la diferenciación por innovación, la rivalidad se evalúa como moderada, aunque con perspectivas de intensificación a medida que el sector se formalice.

Se muestra la figura tipo radar siguiendo el modelo de las cinco fuerzas de Porter (ver figura 3). En conjunto, el análisis revela un mercado atractivo en expansión, impulsado por la necesidad de soluciones sostenibles y por el respaldo normativo hacia la economía circular. Si

bien las barreras de entrada y el poder de los proveedores constituyen los principales retos, la diferenciación tecnológica y el valor ambiental del biochar ofrecen una oportunidad sólida de posicionamiento competitivo.

Figura 3

Las 5 Fuerzas de Porter en Modelo Tipo Radar



Capítulo III: Investigación del Usuario (Cliente)

En este capítulo se tiene como objetivo profundizar en la información en el perfil del usuario. Para ello, se realizaron 20 entrevistas a personas residentes en Lima Metropolitana y de diversas provincias del país que trabajan en el sector minero, con el fin de identificar los principales dolores y necesidades. La información recopilada fue analizada y consolidada mediante el Mapa de Experiencia del Usuario y el Lienzo Meta Usuario, herramientas que nos permitieron identificar necesidades, patrones claves y orientar el diseño de un servicio de manera efectiva a los requerimientos.

3.1 Perfil de Usuario

Para el perfil de usuario se desarrolló un análisis tras la realización de 20 entrevistas de personas que pertenecían a las diversas áreas del sector minero. Este grupo entrevistado incluyó gerentes de sostenibilidad, superintendentes ambientales, responsables de ESG (Environmental, Social and Governance). Estas entrevistas nos permitieron recopilar información cualitativa, identificando percepciones, necesidades no satisfechas, desafíos actuales y aspiraciones relacionadas con la gestión de neumáticos fuera de uso (NFU). La muestra fue cuidadosamente seleccionada para garantizar representatividad territorial (Moquegua, Arequipa, Cusco y Ayacucho) y diversidad organizacional (grandes empresas mineras, operadores logísticos y entidades locales).

A partir del análisis de contenido de las entrevistas, se construyeron dos perfiles de usuario detallados utilizando la herramienta Lienzo 6x6, y se elaboró un arquetipo consolidado (User Persona) que representa al decisor ideal para soluciones de reciclaje de NFU. Este arquetipo se caracteriza por la alta preocupación por el cumplimiento normativo ambiental y la gestión reputacional de la empresa. Interés en soluciones sostenibles alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Asimismo, por la necesidad de tener aliados confiables que ofrezcan trazabilidad, eficiencia técnica y respaldo regulatorio.

Guía de Entrevista. Se incluyó una combinación de preguntas abiertas y específicas para identificar las percepciones sobre el impacto ambiental de los neumáticos, las opiniones respecto a la implementación de programas de reciclaje y las expectativas sobre los beneficios sociales y económicos asociados. Durante las entrevistas se mantuvo un tono abierto y neutral, empleando preguntas amplias para obtener respuestas detalladas y realizando preguntas de seguimiento cuando fue necesario. Este enfoque permitió captar *insights* desde la personalidad del usuario, logrando que la información recopilada reflejara de manera precisa sus necesidades y expectativas. En el Apéndice J se presenta la guía de entrevista utilizada para recopilar información sobre las percepciones y expectativas de los usuarios en relación con la gestión sostenible de neumáticos fuera de uso (NFU).

Información relevante de usuarios entrevistados. Las veinte entrevistas realizadas a profesionales del sector minero permitieron recoger información detallada sobre sus experiencias, actividades y percepciones en torno a la gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) y las prácticas de sostenibilidad. Los participantes describieron que sus funciones diarias incluyen supervisar procesos ambientales, coordinar acciones operativas, realizar seguimiento a indicadores y participar en actividades relacionadas con el cumplimiento normativo. Varios entrevistados comentaron que estas tareas requieren organización constante y coordinación con otros equipos de trabajo.

En cuanto a sus expectativas, los participantes expresaron interés en contar con procedimientos más claros para la gestión de residuos, disponer de herramientas que faciliten la trazabilidad y fortalecer las prácticas de sostenibilidad dentro de sus organizaciones. Los entrevistados también mencionaron dificultades recurrentes, como la ausencia de lineamientos estandarizados para el manejo de NFU, la limitación de recursos técnicos y la necesidad de equilibrar las obligaciones operativas con las ambientales. Además, indicaron que determinados procesos pueden volverse más exigentes cuando no existe un

acompañamiento institucional sólido. Finalmente, los participantes destacaron aspectos que consideran importantes en su labor, como el compromiso con el ambiente, la responsabilidad frente al entorno y la importancia de mantener una comunicación colaborativa con otros equipos y, en algunos casos, con las comunidades cercanas.

Arquetipos de Usuario (User Personas). Con el propósito de poder comprender a mayor profundidad las dinámicas, necesidades y motivaciones de los actores vinculados a la gestión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el sector minero, se desarrollaron dos arquetipos representativos a partir del análisis cualitativo de las entrevistas realizadas. La construcción de estos perfiles permitió identificar patrones de comportamiento, tensiones operativas y expectativas sociales que influyen directamente en la adopción de soluciones sostenibles. Estos arquetipos nos facilitan la representación de usuarios reales dentro del proceso de diseño centrado en las personas.

Arquetipo de Usuario 1. El primer arquetipo corresponde a Cristhian Robles, un jefe de gestión ambiental con más de quince años de experiencia en operaciones mineras de tajo abierto en el sur del Perú. Cristhian se desempeña como responsable del cumplimiento normativo ambiental y de la supervisión del manejo de residuos especiales, entre ellos los NFU. Su discurso, recogido en las entrevistas, evidencia un enfoque técnico y analítico, acompañado de una constante preocupación por el riesgo regulatorio y reputacional asociado a la acumulación de neumáticos mineros. Él manifiesta que “lo ambiental siempre es urgente, pero pocas veces es lo primero en la lista del área de operaciones”, una frase que refleja la tensión entre las exigencias productivas y el cumplimiento de estándares ambientales. Asimismo, reconoce que los NFU “se acumulan más rápido de lo que el sistema puede gestionarlos”, lo que muestra la clara evidencia de la insuficiente infraestructura para su almacenamiento y disposición.

Cristhian se encuentra altamente motivado por implementar soluciones que optimicen

los procesos internos y que garanticen la trazabilidad total en el manejo de los NFU. Su orientación a la eficiencia operativa se siempre resalta, se complementa con un sentido de responsabilidad profesional, pues es consciente de que cada reporte ambiental presentado a autoridades requiere respaldo técnico y documentación detallada. Entre sus principales frustraciones se identifican la escasez de proveedores especializados para el tratamiento de neumáticos OTR, la falta de presupuesto asignado al área ambiental para innovaciones y la presión constante de otras gerencias, que priorizan la continuidad operativa sobre la gestión de residuos. De acuerdo con lo declarado en las entrevistas, Luis considera que “todos quieren minería responsable, pero nadie quiere pagar lo que cuesta hacer las cosas bien”, mostrando su percepción sobre las limitaciones estructurales del sector.

Arquetipos de Usuario 2. El segundo arquetipo corresponde a Aurora Gamarra Vásquez, especialista en responsabilidad social corporativa (RSC) con doce años de experiencia en programas de relacionamiento comunitario en zonas del corredor minero del sur. Aurora se caracteriza por un enfoque altamente empático y orientado a la construcción de confianza entre la empresa y las comunidades aledañas. Su labor implica gestionar procesos de diálogo social, diseñar iniciativas sostenibles y atender las preocupaciones de agricultores y líderes locales respecto al impacto de la actividad minera. Durante las entrevistas, Aurora enfatizó que “la comunidad no quiere escuchar discursos, quiere ver que la empresa realmente hace algo real por ellos”, lo que muestra su comprensión de las expectativas sociales y del valor que los proyectos tangibles tienen en la percepción comunitaria.

Su motivación principal se centra en impulsar iniciativas que generen beneficios socioambientales visibles y que contribuyan a mejorar la calidad de vida de la población local. Ello adquiere mayor relevancia en contextos donde la degradación del suelo agrícola y el alto costo de insumos han generado descontento en familias agricultoras. Sin embargo, Aurora enfrenta frustraciones vinculadas a la burocracia interna de la propia empresa minera,

la falta de continuidad en los programas sociales cuando cambian las jefaturas, y la desconfianza inicial de las comunidades debido a experiencias previas de incumplimientos. Según sus palabras, “el mayor desgaste no es técnico; es emocional”, lo que demuestra el componente relacional y humano del rol que desempeña.

En resumen, Cristhian prioriza métricas, trazabilidad y cumplimiento, Aurora valora la legitimidad social, la transparencia y la capacidad de demostrar impacto comunitario. De esta manera, ambos arquetipos representan dimensiones complementarias dentro del ecosistema minero: la dimensión técnica-operativa y la dimensión social-relacional. La presencia simultánea de estas perspectivas permitió enriquecer la identificación de necesidades del usuario, dado que refleja que cualquier solución respecto al manejo de NFU debe responder tanto a criterios de eficiencia ambiental como a las expectativas de responsabilidad social. Este hallazgo es fundamental para direccionar el diseño del servicio hacia un enfoque integral que considere la viabilidad técnica, el cumplimiento normativo, el impacto social y la creación de valor compartido.

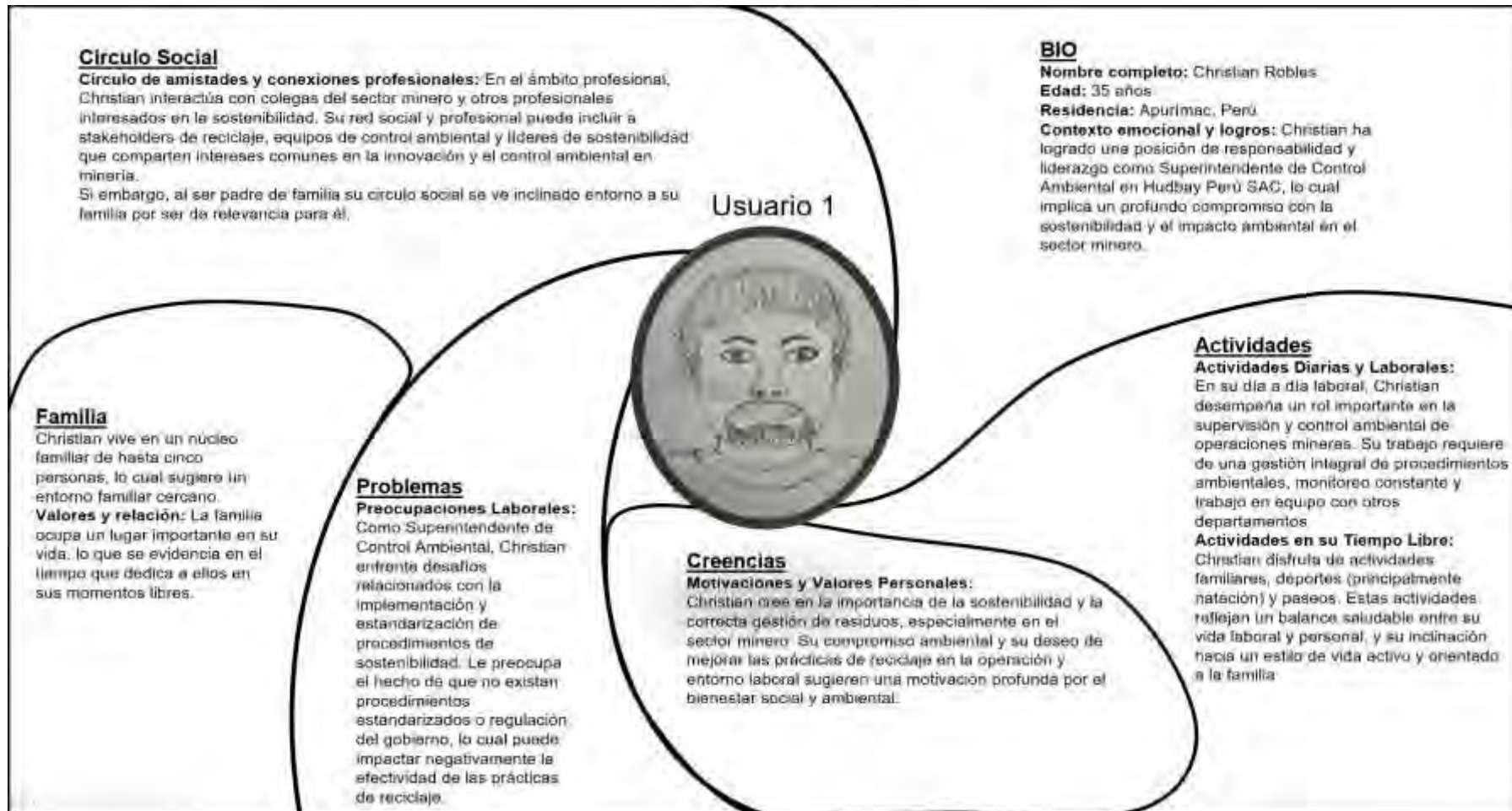
Lienzo meta (usuario 1). El Lienzo Meta del usuario representado por Cristhian Robles resume los elementos centrales que influyen en su manera de percibir y gestionar los NFU dentro de la operación minera. Este usuario orienta sus decisiones hacia el control, la claridad procedimental y la estabilidad operativa, priorizando soluciones que reduzcan incertidumbre y faciliten la supervisión ambiental.

La síntesis gráfica expone los factores personales, laborales y motivacionales que condicionan su visión y permiten comprender mejor los criterios con los que evalúa nuevas alternativas de gestión sostenible.

En la Figura 4, correspondiente al Lienzo Meta del usuario Cristhian Robles, se presenta una perspectiva centrada en el impacto social de las iniciativas relacionadas con los NFU.

Figura 4

Mapa de Empatía del Usuario 1 (Christian Robles)



El siguiente Lienzo Meta correspondiente a Aurora Gamarra Vásquez que presenta una mirada centrada en el impacto social de las iniciativas asociadas a los NFU. perspectiva privilegia la generación de beneficios inmediatos para las comunidades y la coherencia entre las acciones de la empresa y sus compromisos de sostenibilidad. La representación gráfica sintetiza los aspectos personales, familiares y profesionales que influyen en su sensibilidad social, y permite comprender cómo estos factores orientan su valoración de proyectos con impacto ambiental y comunitario. En la Figura 5, se presenta el perfil de Aurora Gamarra Vásquez, quien representa a un usuario con alto compromiso hacia la sostenibilidad y la responsabilidad social.

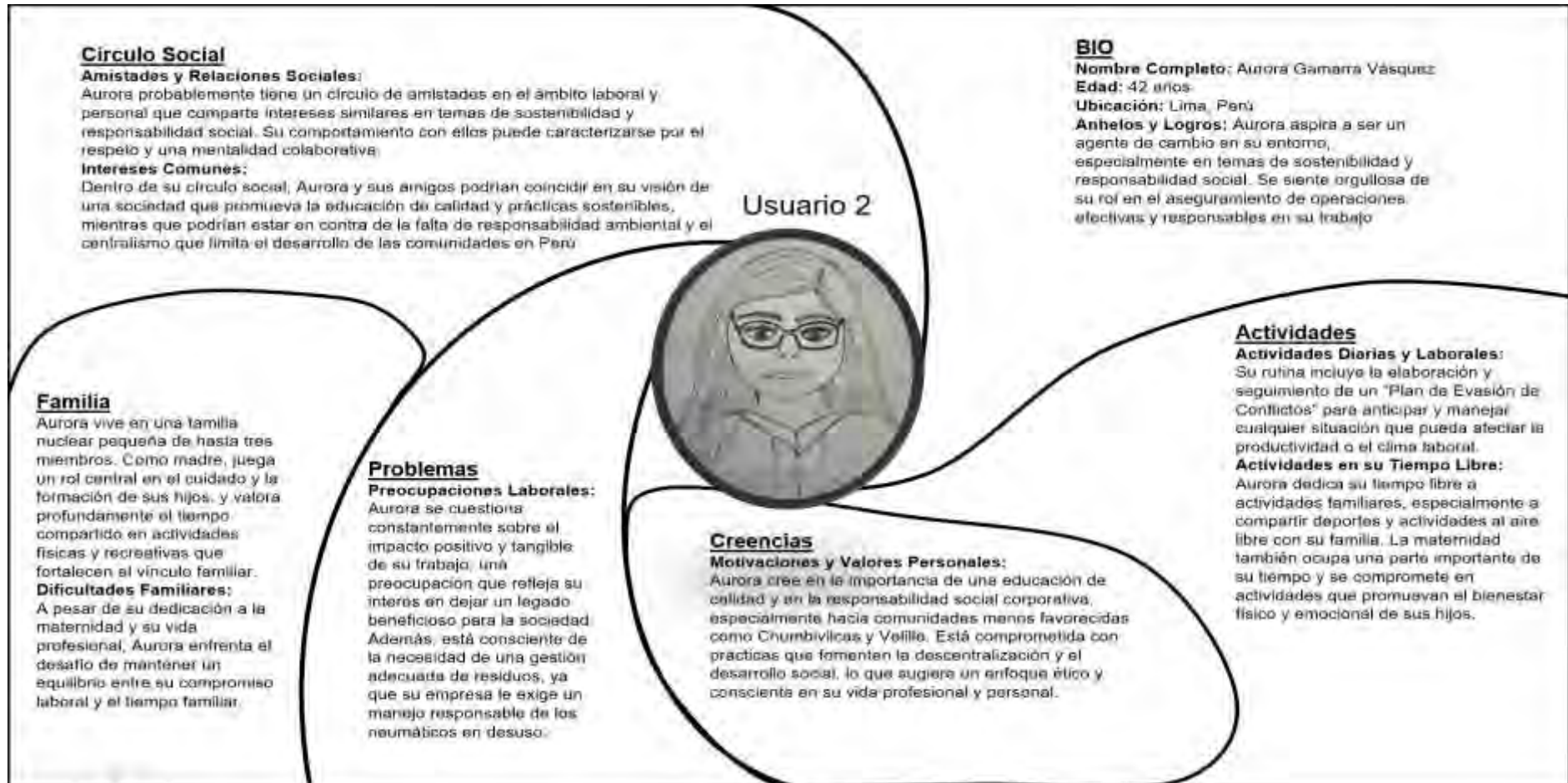
3.2 Mapa de Experiencia de Usuario

El mapa de experiencia del usuario muestra una evolución emocional que inicia con preocupación por la acumulación de NFU y los efectos en el suelo. Esta inquietud se intensifica al evidenciar la falta de procesos definidos o soluciones accesibles, generando incertidumbre y desconfianza. El punto de quiebre surge al conocer alternativas sostenibles, lo que despierta interés y apertura a nuevas posibilidades. No obstante, la motivación disminuye temporalmente ante las barreras logísticas y técnicas que dificultan la implementación. La trayectoria concluye con una percepción positiva cuando los usuarios reconocen beneficios concretos tales como mejoras en el suelo y aportes al bienestar comunitario hacen que se refuerce el sentido de contribución y la disposición a impulsar cambios, siempre que exista claridad y acompañamiento técnico.

Lienzo Mapa de Experiencia – Usuario 1. El recorrido emocional del Usuario 1 evidencia una transición por etapas claramente diferenciadas. El proceso inicia con una disposición positiva basada en su interés por contribuir a la sostenibilidad y fortalecer la gestión ambiental en su entorno laboral. Sin embargo, esta predisposición favorable se ve

Figura 5

Mapa de Empatía del Usuario 2 (Aurora Gamarra Vásquez)



afectada al enfrentar la falta de procedimientos formales para el manejo de los NFU, lo que genera frustración y una percepción de vulnerabilidad operativa. El punto de quiebre emocional surge cuando identifica que la ausencia de regulación específica limita la implementación de prácticas sostenibles, generando dudas sobre la viabilidad real de cualquier solución propuesta. A pesar de esta fase de escepticismo, el usuario experimenta un momento de recuperación emocional al visualizar que la sensibilización interna y el liderazgo ambiental pueden generar cambios concretos en su organización. Esta toma de conciencia impulsa un compromiso renovado y orientado a la acción. El recorrido culmina con una sensación de logro al comprender que su participación no solo mejora los procesos técnicos, sino que también contribuye al impacto ambiental y social de largo plazo (ver figura 6).

Lienzo Mapa de Experiencia – Usuario 2. El recorrido emocional del Usuario 2 se caracteriza por una sensibilidad social y una disposición inicial favorable hacia las iniciativas de sostenibilidad. Desde el inicio, la usuaria identifica la problemática de los NFU como una oportunidad para generar cambios con impacto real en las comunidades aledañas. La toma de conciencia de los efectos negativos asociados a la acumulación de estos residuos provoca preocupación, pero simultáneamente abre un espacio para la esperanza y el sentido de propósito.

A lo largo del proceso reflexivo, la usuaria experimenta momentos de duda vinculados al riesgo de no actuar oportunamente, lo que refuerza su convicción de impulsar un modelo circular que beneficie tanto a la empresa como al entorno social. El punto emocional positivo más relevante surge al visualizar que las soluciones propuestas pueden mejorar prácticas agrícolas y fortalecer el bienestar comunitario y el beneficio a los mismos. Este entendimiento impulsa una identidad de agente de cambio y genera una emoción final de orgullo por su capacidad de influir en procesos de sostenibilidad que trascienden lo operativo y alcanzan una dimensión social (ver figura 7).

Figura 6

Mapa de Experiencia del Usuario 1: Pensamientos y Emociones Durante el Proceso de Sensibilización hacia la Sostenibilidad

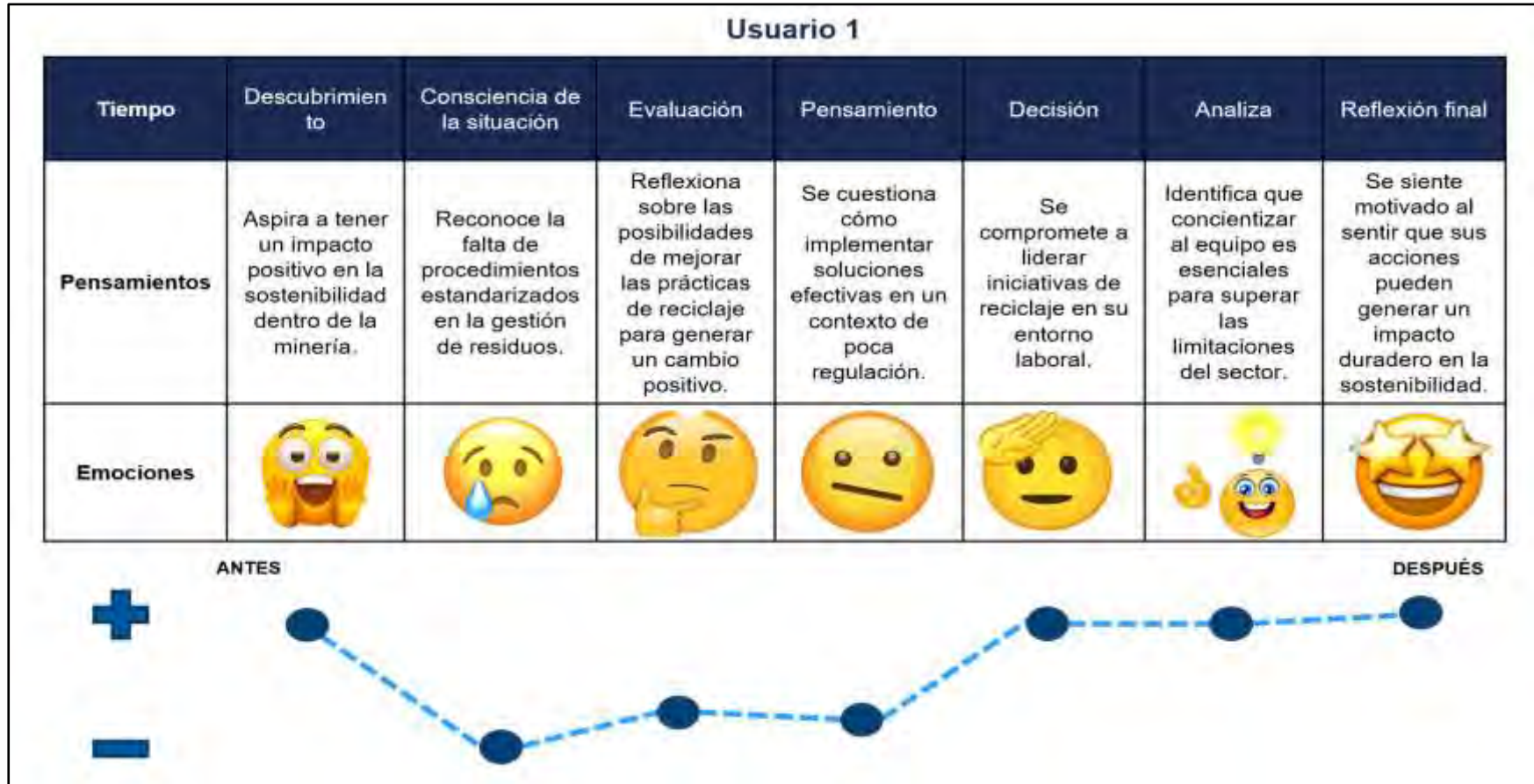
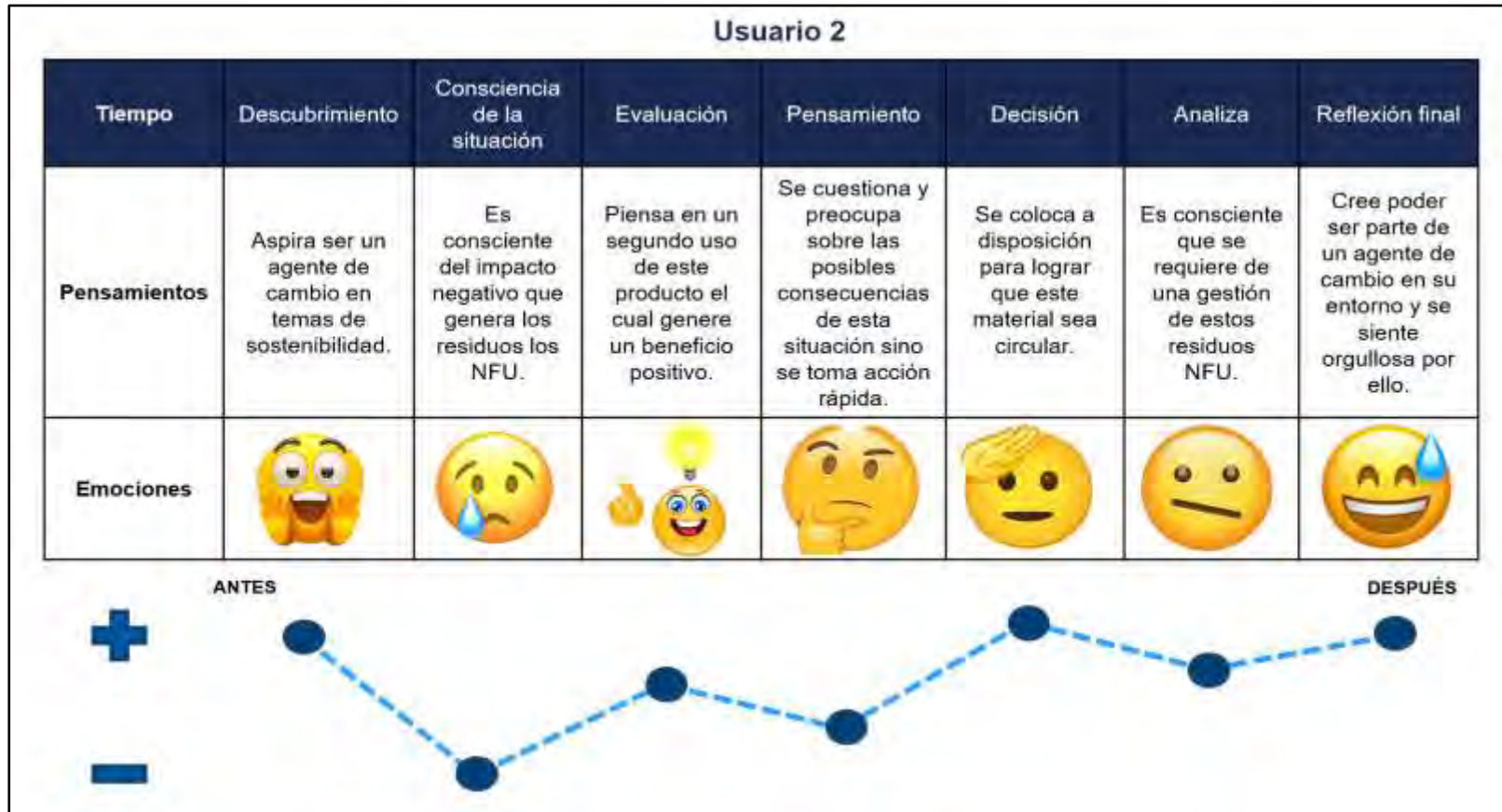


Figura 7

Mapa de Experiencia del Usuario 2: Pensamientos y Emociones durante el Proceso de Sensibilización hacia la Sostenibilidad



3.3 Identificación de la Necesidad a Resolver para el Usuario

Tras las entrevistas y el análisis integral realizado se concluyó que hay varias necesidades identificadas por los usuarios tales como la búsqueda de una solución sostenible, técnicamente viable y económicamente conveniente para la gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) en el sector minero. Esta necesidad se posicionó como prioritaria debido a tres factores convergentes: el riesgo ambiental y sanitario asociado a la acumulación de NFU, la presión creciente por el cumplimiento normativo y la expectativa de que las empresas mineras integren prácticas de sostenibilidad que fortalezcan su reputación corporativa. Asimismo, se resaltó la falta de alternativas eficientes que genera costos operativos ocultos y limita la implementación de estrategias de economía circular.

Con el fin de seleccionar la solución más adecuada, se evaluaron distintas alternativas de valorización. Entre ellas se consideraron prácticas biológicas, como el compostaje, y tecnologías de transformación termoquímica, como la pirólisis orientado a la producción de biochar. El compost, aunque ampliamente utilizado en la gestión de residuos orgánicos, presentó limitaciones significativas debido a que los NFU no contienen materia biodegradable y no pueden integrarse a procesos biológicos convencionales (Li et al., 2023; Zhang & Chen, 2022). En contraste, el biochar mostró mayor pertinencia técnica al permitir transformar un residuo industrial no biodegradable en un insumo ambientalmente valioso y estable, con capacidad para mejorar la estructura del suelo, incrementar la retención de nutrientes y favorecer procesos de remediación (Gao et al., 2024; Mukherjee & Zimmerman, 2022).

El criterio de priorización combinado que evaluó pertinencia técnica, beneficios ambientales, potencial económico, escalabilidad y alineamiento con los objetivos de sostenibilidad del sector minero posicionó a la tecnología de pirólisis como la alternativa más adecuada. Esta tecnología no solo permite generar biochar, sino también recuperar acero y

obtener aceites industriales, ampliando los beneficios económicos bajo un enfoque de economía circular (Kumar et al., 2021). De esta manera, la solución priorizada responde a la necesidad del usuario al ofrecer una alternativa integral que reduce el impacto ambiental, cumple con las exigencias regulatorias, optimiza la gestión interna y contribuye al desarrollo sostenible del territorio (FAO, 2023).



Capítulo IV: Diseño del Producto o Servicio

El diseño del servicio se desarrolló siguiendo la metodología Design Thinking, mediante un proceso progresivo y centrado en el usuario que permitió ajustarse continuamente a sus necesidades y a su contexto real. La participación de los usuarios fue determinante en cada etapa, ya que sus aportes guiaron la definición del problema, la generación de alternativas y la validación de propuestas. Como resultado, las estrategias definidas fueron evaluadas y priorizadas utilizando la matriz costo-impacto, garantizando soluciones viables y alineadas con los objetivos del proyecto.

4.1 Concepción del Producto o Servicio

Los NFU generados por la industria minera representan un problema ambiental significativo debido a su lenta degradación, la liberación de contaminantes y su acumulación en vertederos. La falta de alternativas sostenibles para su eliminación ha generado impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública. Por ello, se hace necesario implementar soluciones innovadoras que permitan transformar estos residuos en productos con valor agregado para la agricultura, como mejoradores de suelo, fertilizantes y fuentes de nutrientes para las plantas.

El reúso de neumáticos fuera de uso (NFU) en la agricultura puede generar impactos positivos en distintas dimensiones: en el ámbito ambiental, contribuye a la reducción de la contaminación del suelo y el aire, minimiza la acumulación de residuos en vertederos y promueve el uso sostenible de materiales reciclados; en el plano económico, impulsa nuevas oportunidades de negocio en la agroindustria y permite reducir los costos de insumos agrícolas y desde una perspectiva social, facilita la creación de empleo en actividades relacionadas con el reciclaje y la agricultura regenerativa, involucrando activamente a la población local. De igual forma, durante las entrevistas a los usuarios surgió un patrón general de preocupación respecto al manejo inadecuado de los NFU. Los entrevistados

expresaron la necesidad de contar con procesos claros, soluciones tecnológicas viables y un acompañamiento institucional más robusto. Este insumo permitió orientar la elaboración del Lienzo 6x6 y la matriz utilizada para estructurar la propuesta.

Lienzo 6x6. El Lienzo 6x6 muestra que el usuario valora la sostenibilidad y se encuentra comprometido con encontrar soluciones para la gestión de NFU. Sin embargo, enfrenta limitaciones como falta de recursos, apoyo institucional y coordinación entre actores. Aunque observa esfuerzos aislados, persiste la frustración por la escasa toma de acciones concretas. A pesar de ello, mantiene una actitud proactiva, busca alianzas y promueve iniciativas internas. El análisis confirma la necesidad de una solución viable, articulada y con impacto ambiental y social claro. En la figura 8, se presenta la matriz 6x6 de ideación, que integra los objetivos, necesidades, preguntas generadoras y propuestas desarrolladas para abordar la gestión sostenible de neumáticos fuera de uso en el sector minero.

Matriz Impacto–Costo. Como parte de la propuesta de valor se plantea convertir los NFU en productos útiles para la agricultura, respondiendo simultáneamente a desafíos del sector minero y necesidades del sector agrícola. Para priorizar las alternativas consideradas se empleó la matriz impacto–costo, la cual permitió seleccionar la opción más equilibrada en términos de sostenibilidad, viabilidad económica y beneficios sociales. La figura 9 esquematiza las actividades según necesidad. Es importante señalar que dentro de la propuesta de valor es convertir los NFU en productos útiles para la agricultura y satisfacer las necesidades humanas (sectores mineros y agrícolas).

Los participantes destacaron la importancia de una gestión responsable, en línea con el principio de responsabilidad extendida del productor (REP), para evitar impactos negativos como emisiones tóxicas por quema de llantas, acumulación en vertederos o proliferación de actividades informales. Si bien existen regulaciones ambientales aplicables a los NFU, se

Figura 8

Matriz 6x6 de Ideación para la Gestión Sostenible de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)







OBJETIVO		NECESIDADES			
El principal problema es la acumulación y la falta de eliminación o reutilización adecuada de los neumáticos mineros usados. No se trata solo de un problema ambiental, sino que afecta a la industria minera y a las comunidades aledañas.		Las empresas mineras necesitan una forma rentable y responsable con el medio ambiente de gestionar los neumáticos desechados porque los métodos de eliminación actuales son insuficientes y podrían dañar su imagen de responsabilidad social corporativa			
PREGUNTAS GENERADORAS					
1	2	3	4	5	6
¿Qué alternativas sostenibles existen para la reutilización de neumáticos en el contexto de la minería?	¿Cómo podemos motivar a las empresas mineras para que participen en un programa de reciclaje de neumáticos?	¿Qué beneficios podrían obtener las comunidades locales de un programa de reutilización de neumáticos?	¿Qué estrategias podrían implementarse para superar las barreras actuales en la implementación de soluciones de reciclaje de neumáticos?	¿Qué tipos de alianzas o colaboraciones podrían ayudar a financiar y escalar esta iniciativa?	¿Cómo podemos garantizar que la solución sea escalable y aplicable a largo plazo?
Conversión de neumáticos en materias primas para la industria del caucho.	Fomentar la responsabilidad social corporativa a través de la participación en programas de reciclaje.	Aprovechar neumáticos reciclados en caminos rurales, áreas recreativas y proyectos de ingeniería comunitaria.	Reducir impuestos o ofrecer subsidios a las empresas mineras y recicladoras que adopten tecnologías sostenibles para el reciclaje de neumáticos.	Crear un sistema de certificación que garantice la calidad del reciclaje y su aceptación en el mercado	Desarrollar un plan de expansión que contemple diferentes regiones y su capacidad de reciclaje.
Utilización de neumáticos reciclados como material de construcción para caminos mineros y plataformas.	Implementar incentivos fiscales para las minas que adopten prácticas de reciclaje.	Disminuir la acumulación de neumáticos reduce criaderos de insectos y riesgos sanitarios para la comunidad.	Construir centros de acopio y plantas de reciclaje en zonas estratégicas con apoyo del gobierno y el sector privado.	Colaboración con ONGs y empresas de reciclaje para crear un programa de responsabilidad social corporativa.	Realizar talleres de sensibilización sobre el impacto ambiental de los neumáticos desechados:
Transformación de neumáticos en combustible alternativo para procesos industriales.	Realizar talleres de sensibilización sobre el impacto ambiental de los neumáticos desechados.	Fomentar la fabricación de productos útiles como baldosas, mobiliario urbano o suelas de zapatos.	Sensibilizar a las comunidades y empresas sobre los beneficios económicos y ambientales del reciclaje, promoviendo su participación activa.	Asociaciones con universidades para investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de reciclaje.	Crear un sistema de certificación que garantice la calidad del reciclaje y su aceptación en el mercado.
Reutilización de neumáticos en la fabricación de productos como muebles o elementos decorativos.	Mostrar casos de éxito de otras minas que han implementado programas de reciclaje.	Colaboración con gobiernos locales para obtener subsidios y apoyo logístico	Asociarse con universidades para mejorar tecnologías de reciclaje y reducir los costos asociados a la implementación.	Establecer convenios con empresas de transporte para facilitar la logística del reciclaje.	Establecer un marco regulatorio que apoye la implementación de soluciones de reciclaje.
Uso de neumáticos en proyectos de ingeniería civil, como barreras de contención.	Crear un programa de reconocimiento para las minas que implementen prácticas sostenibles.	Implementar talleres que sensibilicen a las comunidades sobre reciclaje y prácticas sostenibles.	Desarrollar un modelo de negocio que incluya la recolección y procesamiento de neumáticos a nivel regional	Trabajar con empresas de tecnología para desarrollar soluciones innovadoras de reciclaje.	Implementar un sistema de monitoreo y evaluación para medir el impacto de las iniciativas de reciclaje.
					
6 IDEAS SELECCIONADAS					
Transformación de neumáticos en combustible alternativo para procesos industriales:	Implementar incentivos fiscales para las minas que adopten prácticas de reciclaje	Colaboración con gobiernos locales para obtener subsidios y apoyo logístico	Desarrollar un modelo de negocio que incluya la recolección y procesamiento de neumáticos a nivel regional	Crear un sistema de certificación que garantice la calidad del reciclaje y su aceptación en el mercado	Realizar talleres de sensibilización sobre el impacto ambiental de los neumáticos desechados:

Figura 9

Matriz Impacto/Costos para la Priorización de Alternativas Sostenibles



identificó que aún presentan limitaciones vinculadas a fiscalización y operatividad.

Asimismo, es necesario recordar que existen regulaciones ambientales sobre cómo gestionar los NFU, los cuales incluyen responsabilidad del productor, normas de reciclaje y la misma restricción en la disposición en vertederos. Sin embargo, muchas de estas normativas aún son insuficientes o no cuentan con mecanismos de fiscalización adecuados. En la Figura 10 se resumen las principales necesidades identificadas en el estudio, relacionadas con las limitaciones técnicas, económicas y de conocimiento que afectan la conversión de neumáticos fuera de uso (NFU) en insumos agrícolas sostenibles.

Figura 10

Necesidades Identificadas para la Conversión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) .



Proceso de Ideación. El proceso de ideación se desarrolló a partir de los insumos obtenidos en las fases previas del proyecto, empleando las herramientas de diseño centrado en el usuario como base para estructurar las alternativas de solución. Una vez delimitado el problema caracterizado por la acumulación progresiva de neumáticos fuera de uso (NFU) y la ausencia de un sistema de valorización sostenible en el contexto minero, se procedió a la exploración de escenarios posibles. Esta etapa incluyó la identificación de prácticas emergentes en gestión de residuos industriales y la revisión de tecnologías con potencial de aplicación en territorios operativos descentralizados.

A partir de esta investigación se elaboró un conjunto amplio de alternativas que integraban criterios de pertinencia técnica, factibilidad operacional y contribución al desarrollo territorial. La etapa de generación de ideas se orientó a transformar los hallazgos en propuestas tangibles, priorizando soluciones que permitieran reconvertir los NFU en insumos de utilidad para otros sectores productivos. En este contexto, la conversión termoquímica mediante pirólisis emergió como una opción con mayor potencial por su capacidad de transformar el residuo en un material estable y con aplicaciones directas en la agricultura, como un mejorador de suelos. Posteriormente, las alternativas fueron sometidas a un proceso de evaluación en el que analizaron su desempeño ambiental, los costos asociados, la escalabilidad en entornos mineros y el grado de aceptación esperado entre los actores involucrados. Este análisis permitió contrastar las distintas opciones bajo un marco de sostenibilidad integral, identificando sus ventajas comparativas y limitaciones operativas.

Como resultado de este proceso, se seleccionó una solución que reúne los atributos necesarios para responder a los desafíos identificados: una propuesta capaz de reducir el impacto ambiental generado por los NFU, generar productos con valor agregado y articular beneficios tanto para la actividad minera como para el sector agrícola. Esta decisión marca el cierre del proceso de ideación y establece la base para el diseño técnico y operativo de la

solución final.

Desarrollo del Prototipo Ágil. El sistema propuesto se fundamenta en el diseño de una planta de pirólisis modular destinada al procesamiento de neumáticos fuera de uso (NFU) previamente triturados, neumáticos tipo OTR provenientes en operaciones mineras. Cada módulo posee una capacidad operativa cercana a 10 toneladas diarias, valor coherente con los parámetros utilizados en plantas modulares de pirólisis en contextos industriales internacionales (Kumar et al., 2021). Este enfoque modular permite ajustar la operación según la disponibilidad de NFU, la demanda del sector y las condiciones geográficas, favoreciendo su implementación en unidades mineras descentralizadas. El proceso se ejecuta en ausencia de oxígeno, lo que evita emisiones directas y posibilita la descomposición térmica del caucho en subproductos valorizables. De acuerdo con la literatura técnica y los modelamientos internos del proyecto, la pirólisis de NFU genera aproximadamente entre 35 y 40 % de biochar, 10 y 15 % de acero recuperado, 35 y 45 % de aceite pirolítico y 10 y 15 % de gas sintético (Gao et al., 2024). Cada uno de estos subproductos posee aplicaciones específicas: el biochar como mejorador de suelos, el acero como materia prima para la industria metalúrgica, el aceite como insumo energético y el gas como fuente interna de calor para retroalimentar el proceso.

El carácter modular del sistema facilita su escalabilidad y la reducción de costos iniciales, y permite una operación progresiva adaptada a la disponibilidad de residuos. Para asegurar un desempeño eficiente, el diseño incorpora sensores IoT destinados al monitoreo continuo de temperatura, presión y emisiones, garantizando un control preciso de las condiciones operativas y el cumplimiento de las normativas ambientales. En suma, la propuesta constituye una alternativa técnicamente viable, ambientalmente responsable y claramente alineada con los principios de economía circular, al transformar un residuo complejo en insumos de alto valor para distintos sectores productivos. En la Figura 11 se

Figura 11

Diagrama del Proceso



muestra el inicio del modelo del negocio con la recepción de los NFU, continua con el proceso de transformación y finaliza con la contra entrega del biochar.

4.2 Desarrollo de la Narrativa

La metodología utilizada en este proyecto integró los enfoques de Design Thinking y Lean Startup, ambos ampliamente reconocidos por su capacidad para abordar problemas complejos a través de un diseño centrado en el usuario y ciclos continuos de aprendizaje (Brown, 2009; Ries, 2011). Esta combinación metodológica permitió estructurar un proceso de innovación flexible y progresivo, para contextos donde la validación experimental directa resulta limitada o inexistente, como ocurre en Perú, donde no se dispone de plantas piloto ni laboratorios especializados para evaluar biochar derivado de neumáticos fuera de uso (NFU) (MINAM, 2023). El proceso se inició con la fase de empatía descrita por Design Thinking como la etapa fundamental para comprender las experiencias reales y las motivaciones de los usuarios (Plattner et al., 2018). En esta etapa se recopiló perspectivas mediante entrevistas con gestores ambientales, operadores mineros, especialistas en sostenibilidad y representantes agrícolas. Sus testimonios evidenciaron preocupaciones relacionadas con la acumulación persistente de NFU y con la degradación de suelos agrícolas, además de la limitada disponibilidad de alternativas sostenibles en ambos sectores. La información obtenida permitió construir un entendimiento profundo del problema y orientar las etapas posteriores del proyecto.

En la fase de definición, el equipo reformuló el problema combinando los hallazgos cualitativos con evidencia documental. Esta reformulación identificó dos necesidades principales: disponer de un método técnico, económico y ambientalmente viable para valorizar los NFU, y atender la demanda creciente del sector agrícola por insumos regenerativos que permitan recuperar la calidad del suelo sin incrementar los costos de producción (FAO, 2023). Debido a la ausencia de infraestructura local para realizar ensayos,

en esta fase se acudió a estudios científicos y casos internacionales de pirólisis y aplicación de biochar, los cuales han sido ampliamente documentados como soluciones efectivas para la gestión de residuos y la restauración de suelos. La etapa de ideación consistió en explorar un conjunto amplio de alternativas, desde opciones mecánicas convencionales hasta tecnologías avanzadas de valorización. Aunque el proyecto inicialmente se centraba en la disposición final de los NFU, la evidencia científica revisada mostró que el biochar obtenido por pirólisis posee propiedades fisicoquímicas que mejora la estructura del suelo, incrementa la retención de nutrientes otorgando un valor superior al neumático valorizado (Lehmann & Joseph, 2015). Esta constatación transformó el enfoque original hacia una propuesta de economía circular con impacto en dos sectores productivos.

Posteriormente, se desarrolló un prototipado conceptual ante la ausencia de prototipos físicos, los prototipos conceptuales permiten validar supuestos técnicos utilizando parámetros de estudios previos. Se modelaron capacidades, temperaturas, tiempos de residencia, rendimientos esperados y posibles configuraciones modulares basados en plantas de pirólisis reportadas en literatura internacional. Dado que el Perú no cuenta con laboratorios especializados para replicar estas condiciones, el equipo utilizó rangos de operación descritos por Kumar et al. (2021) y Gao et al. (2024) para definir la capacidad estimada de 10 toneladas por módulo y los porcentajes de biochar, acero, aceite y gas esperados en el proceso.

La fase de validación, siguiendo los principios de Lean Startup, consistió en contrastar el prototipo conceptual con estudios científicos, análisis comparativos de tecnologías y experiencias internacionales documentadas en países que cuentan con plantas piloto o industriales (Ragaert et al., 2017). Este proceso permitió verificar que la solución seleccionada del proceso de pirólisis modular para producir biochar a partir de NFU se alinea con criterios de sostenibilidad, escalabilidad y viabilidad económica. Asimismo, permitió

ajustar supuestos, identificar limitaciones potenciales y fortalecer la propuesta final a partir de evidencia validada externamente.

Finalmente, la integración de ambas metodologías permitió que el diseño evolucionara de una propuesta inicial enfocada en la gestión de residuos hacia un modelo de creación de valor ambiental y agrícola, completamente alineado con los principios de economía circular y responsabilidad compartida (Ellen MacArthur Foundation, 2020). Aunque las condiciones locales no permitieron realizar validaciones experimentales, la adopción de estudios previos, la comparación con proyectos internacionales y la retroalimentación obtenida durante la fase de empatía garantizaron la coherencia técnica y conceptual de la propuesta desarrollada por el equipo investigador.

4.3 Carácter Innovador del Producto o Servicio

Revisión de Patentes o Estudios de Casos Similares a la Solución. La revisión de antecedentes internacionales permitió identificar diversas soluciones tecnológicas orientadas a la valorización sostenible de neumáticos fuera de uso (NFU), con énfasis en procesos de pirólisis y reciclaje mecánico. El análisis incluyó la evaluación de patentes activas, estudios de casos y experiencias empresariales relevantes para el enfoque de economía circular. Esta información resultó esencial para determinar el grado de madurez tecnológica, el estado del mercado global y el posicionamiento innovador de la propuesta desarrollada en este proyecto.

La búsqueda en bases de datos como WIPO, USPTO, EPO y Google Patents evidenció que, si bien existe un número creciente de desarrollos enfocados en mejorar la eficiencia de la pirólisis, las aplicaciones agrícolas derivadas de NFU continúan siendo mínimas. Entre las invenciones más relevantes se encuentra la patente WO2021102349A1, que propone una planta de pirólisis modular diseñada para operar en entornos descentralizados, con módulos escalables que procesan entre 5 y 20 toneladas diarias, integrando recirculación térmica y un diseño logístico adaptable (WIPO, 2021). Esta

aproximación es especialmente compatible con realidades como las operaciones mineras peruanas ubicadas en zonas de difícil acceso.

Asimismo, la patente US20190234561A1 describe un sistema especializado en maximizar la recuperación de aceite pirolítico mediante cámaras de calentamiento continuo y sensores de monitoreo, lo que aporta elementos clave para el control térmico y la eficiencia energética (USPTO, 2019). Paralelamente, la patente EP3779482A1 propone un sistema de valorización integral de residuos de caucho, con énfasis en la separación limpia de acero, caucho y aceites, reforzando un enfoque de sostenibilidad mediante la reducción de emisiones industriales (EPO, 2021). Finalmente, la patente WO2020205666A1 destaca por ser una de las pocas orientadas específicamente a la producción de biochar a partir de residuos de caucho, proponiendo optimizaciones estructurales para su aplicación agrícola (WIPO, 2020). Estas tecnologías respaldan la viabilidad técnica del proceso propuesto en este estudio, aunque evidencian que su orientación agrícola continúa en desarrollo.

La revisión de casos internacionales reafirma estas tendencias. En Europa, empresas como Mollis (España) transforman NFU en caucho granulado utilizado luego en parques infantiles y superficies deportivas (Mollis, 2022), mientras que Grupo Soledad produce combustibles alternativos, pistas deportivas y componentes para infraestructura, demostrando una cadena de reciclaje madura orientada al sector industrial (Grupo Soledad, 2023). En Latinoamérica, la empresa ANIR (Chile) opera plantas de pirólisis destinadas a recuperar acero, aceites y materiales carbonosos de alto rendimiento, consolidándose como referente regional (ANIR, 2023). En África, la literatura señala que países como Sudáfrica, Kenia y Nigeria desarrollan plantas de pirólisis a pequeña escala enfocadas principalmente en combustibles alternativos, sin aplicaciones orientadas al sector agrícola (Mensah & Boadu, 2020).

Asimismo, cabe mencionar que a pesar de que en Perú no se cuenta con

infraestructura especializada para la validación experimental del biochar derivado de neumáticos fuera de uso (NFU), recientemente se han reportado iniciativas iniciales relacionadas con la pirólisis. Medios regionales han informado la operación de una planta de pirólisis en el distrito de La Joya, Arequipa, considerada como la primera de su tipo en el país y orientada al tratamiento de llantas usadas y otros residuos sólidos (Diario Viral, 2025; Revelación, 2025). Sin embargo, la información disponible es aún preliminar y no existen publicaciones técnicas que detallen su rendimiento, grado de automatización, uso de sensores o calidad de los subproductos obtenidos.

Si bien todas las iniciativas mencionadas anteriormente evidencian un avance significativo en la región, la revisión comparativa confirma que la producción de biochar agrícola a partir de NFU es prácticamente inexistente en América Latina y África. Las soluciones predominantes se orientan hacia productos energéticos o mecánicos, sin explorar el potencial regenerativo del material carbonizado. Por ello, la propuesta de aplicar pirólisis modular para producir biochar destinado al mejoramiento de suelos andinos constituye una innovación diferenciadora, especialmente en regiones donde la fertilidad del suelo es limitada y el acceso a fertilizantes sintéticos es costoso o insuficiente.

Desde una perspectiva territorial, la aplicación agrícola del biochar resulta particularmente relevante en zonas altoandinas caracterizadas por suelos degradados, baja retención de nutrientes y condiciones climáticas extremas (FAO, 2023). La evidencia científica indica que el biochar contribuye a mejorar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de retención de humedad y mejorar la eficiencia de nutrientes (Lehmann & Joseph, 2015), lo cual lo convierte en un insumo regenerativo con potencial para fortalecer la resiliencia agrícola de comunidades rurales. Mientras que la pirólisis es una tecnología conocida, su uso para obtener biochar proveniente de NFU y aplicarlo en territorios agrícolas andinos constituye una innovación que integra sostenibilidad, economía circular y desarrollo

territorial.

El análisis comparativo realizado a partir de patentes y casos muestra tres hallazgos principales. Primero, existe un predominio de soluciones mecánicas y energéticas a nivel global, lo que evidencia una saturación relativa de estas tecnologías. Segundo, las aplicaciones agrícolas de biochar derivado de NFU son emergentes y presentan una alta oportunidad para diferenciación. Tercero, las plantas modulares descritas en patentamientos recientes permiten una adaptación realista a las condiciones geográficas y operativas del sector minero peruano. Estos hallazgos permiten determinar que el modelo de negocio propuesto no solo es viable tecnológicamente, sino también innovador y pertinente para el contexto peruano.

En conclusión, la revisión tecnológica e internacional confirma que la transformación de NFU en biochar agrícola mediante pirólisis modular representa una innovación sostenible con alto potencial de impacto ambiental, económico y social. Esta solución combina tecnologías maduras con una aplicación novedosa, integrada a un modelo de economía circular orientado a dos sectores estratégicos: minería y agricultura. La propuesta se posiciona como una alternativa que permite reducir pasivos ambientales, generar productos de alto valor agregado y contribuir al desarrollo territorial en zonas altoandinas.

De acuerdo con los resultados, se recomienda avanzar hacia la implementación de una fase piloto en alianza con universidades, centros de investigación y plantas internacionales certificadas, con el objetivo de validar experimentalmente las propiedades del biochar en cultivos locales. Asimismo, sugerimos desarrollar protocolos estandarizados para el análisis fisicoquímico del producto, incorporar aprendizajes de patentes existentes en el diseño final del sistema y evaluar oportunidades de uso del biochar en cadenas agrícolas regionales. Estas acciones permitirán fortalecer la evidencia técnica, promover su adopción regulatoria y facilitar el escalamiento del modelo.

4.4 Propuesta de Valor

A partir del Mapa de Experiencia del Usuario se identificaron los momentos de dolor, necesidades y oportunidades de mejora de los actores vinculados al manejo de neumáticos fuera de uso (NFU). En las entrevistas realizadas se evidenció que las empresas mineras enfrentan dificultades para su correcta disposición, ya que estos residuos ocupan espacio, implican costos de gestión elevados y generan riesgos ambientales y sociales en las comunidades cercanas. Por su parte, los agricultores manifestaron preocupación por la degradación del suelo, la dependencia de fertilizantes químicos y los altos costos operativos. Ambos sectores mostraron apertura y compromiso para encontrar soluciones sostenibles que beneficien tanto al ambiente como a la economía local.

Desde el sector minero existe interés en contar con alternativas seguras y legales para la disposición final de los NFU, evitando sanciones y fortaleciendo su imagen ambiental. En el sector agrícola, la prioridad es mejorar la estructura y fertilidad del suelo mediante productos ecológicos que reduzcan la dependencia de químicos. En este contexto, la propuesta de valor consiste en ofrecer un servicio integral que transforma los NFU en biochar mediante pirólisis, alineado con los elementos identificados en el Mapa de Propuesta de Valor y Segmento de Clientes (ver Apéndice C). Este proceso térmico permite obtener subproductos valorizables tales como biochar, aceite pirolítico, gas sintético y acero, cuyos rendimientos se presentan en el Apéndice D. Estos productos poseen un alto potencial energético y agronómico (Gao et al., 2022; Afash, Ozarisoy, Altan, & Budayan, 2023).

Durante la presentación de la propuesta, los usuarios manifestaron reacciones positivas y expectativas favorables. Los representantes del sector minero valoraron que la solución permitiera una disposición final responsable, con trazabilidad, cumplimiento normativo y reducción de riesgos reputacionales. Resaltaron principalmente que la posibilidad de convertir un residuo complejo en un recurso valorizable tiene un impacto

directo en su estrategia de sostenibilidad. Siendo considerado especialmente relevante que el insumo provenga de un residuo industrial, lo cual les generó una percepción de innovación, accesibilidad y reducción de costos. La propuesta fue recibida como una solución pragmática, viable y alineada con las metas de sostenibilidad a nivel local.

El biochar resultante posee una estructura porosa, elevada estabilidad térmica y alta capacidad de retención de nutrientes, características que mejoran la aireación, la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo. Un estudio realizado por Mendis, Walpola y Kumarasinghe (2021) demostró que su aplicación redujo la densidad aparente del suelo de 1.39 g/cm^3 a 1.17 g/cm^3 e incrementó la porosidad hasta un 56.3 %, confirmando su potencial como enmienda agrícola sostenible. La propuesta genera un valor compartido: las empresas mineras gestionan sus residuos de forma responsable, cumpliendo con las normas ambientales, mientras que los agricultores accederían a un insumo ecológico y de bajo costo que mejora la productividad y reduce el uso de fertilizantes químicos. De esta manera, el proyecto contribuye a la economía circular, promoviendo la sostenibilidad, la responsabilidad social corporativa y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la producción responsable (ODS 12), la acción por el clima (ODS 13) y la vida de ecosistemas terrestres (ODS 15) (Afash et al., 2023; Gao et al., 2022; Mendis et al., 2021). En síntesis, la propuesta de valor integra los intereses del sector minero y agrícola a través de la conversión de los NFU en biochar para la mejora de suelos, ofreciendo una solución técnica, ambiental y socialmente viable que impulsa el desarrollo sostenible del país y que, de acuerdo con las reacciones observadas en los usuarios, representa una alternativa percibida como útil, deseable y coherente con sus necesidades reales.

4.5 Producto Mínimo Viable (PMV)

El producto mínimo viable (PMV) del presente proyecto se define a partir de evidencia científica previamente publicada, debido a que en el Perú no existen aún

laboratorios o plantas piloto que permitan validar experimentalmente el biochar derivado de neumáticos fuera de uso (NFU). Aunque medios regionales han reportado la operación de una planta de pirólisis en La Joya, Arequipa, dedicada al tratamiento de llantas usadas y residuos sólidos, la ausencia de informes técnicos oficiales sobre su rendimiento, calidad de subproductos o parámetros de operación impide emplearla como referencia experimental confiable tal como lo hemos mencionado anteriormente. Por ello, la construcción del PMV se fundamenta en estudios recientes que analizan tanto las propiedades del biochar como los parámetros técnicos de plantas de pirólisis a escala industrial (Moreno Mesa, Rodríguez Ramírez & Vallejo Quintero, 2025; Mendis, Walpola & Kumarasinghe, 2021; Gao et al., 2022).

La calidad objetivo del biochar se basó en los resultados de la revisión sistemática de Moreno Mesa et al. (2025), quienes analizaron 60 estudios experimentales y encontraron incrementos de hasta 31 % en la retención de agua del suelo, mejoras de 14 % a 19 % en la porosidad, aumento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y alcalinización del pH del suelo tras la aplicación de biochar. Estos autores también reportaron biocarbones con contenidos de carbono entre 40 % y 70 %, áreas superficiales superiores a 100 m²/g y pH alcalinos que superan 9,0. De acuerdo con esta evidencia, el PMV define como criterios mínimos un biochar con pH entre 7,5 y 9,5, carbono orgánico mayor a 45 %, contenido de cenizas compatible con uso agrícola y porosidad efectiva que permita mejorar la aireación y la retención de humedad. Complementariamente, el PMV incorpora datos específicos de estudios sobre biochar proveniente de residuos de caucho. Mendis et al. (2021) el “natural rubber tire waste charcoal” (NRTWC) reportaron valores de 85,87 % de materia orgánica, aproximadamente 50 % de carbono orgánico, densidad aparente de 0,20 g/cm³, densidad de partículas de 0,52 g/cm³, porosidad total de 61,53 % y pH 7,76. Estas propiedades coinciden con los rangos de biochar agrícola descritos por Moreno Mesa et al. (2025), reforzando la

pertinencia del uso de NFU como materia prima para generar enmiendas agrícolas sostenibles. En la Tabla 5 están los parámetros de calidad del biochar según estudios científicos recientes.

Tabla 5

Propiedades Fisicoquímicas del Biochar Reportadas en Estudios Relevantes (2021–2025)

Propiedad analizada	Rango reportado	Observaciones clave	Fuente
pH	7.5 – 10.2	Tendencia alcalina favorece corrección de suelos ácidos	Moreno Mesa et al. (2025)
Contenido de carbono (%)	40 – 70 %	Estabilidad elevada; retención de carbono en el suelo	Gao et al. (2022)
Materia orgánica (%)	80 – 86 %	Biochar de residuos de caucho muestra valores altos	Mendis et al. (2021)
Densidad aparente (g/cm ³)	0.17 – 0.30	Baja densidad favorece aireación y retención hídrica	Mendis et al. (2021)
Porosidad total (%)	50 – 62 %	Mejora infiltración y capacidad de captación de agua	Mendis et al. (2021)
Área superficial (m ² /g)	80 – 120	Aumenta capacidad de adsorción	Moreno Mesa et al. (2025)
Retención de agua (%)	25 – 31 %	Incremento significativo tras aplicación de biochar	Moreno Mesa et al. (2025)
Efecto en porosidad del suelo (%)	+14 % a +19 %	Mejora agregación del suelo	Moreno Mesa et al. (2025)

Nota. Adaptado de Moreno Mesa et al. (2025), Mendis et al. (2021), Gao et al. (2022).

El PMV también incluye los parámetros técnicos de pirólisis obtenidos de estudios recientes. En el análisis de factibilidad de una planta de pirólisis en República Dominicana se establecieron temperaturas óptimas de operación entre 400 y 550 °C, con rendimientos típicos de 35 y 45 % de aceite pirolítico, 30 y 35 % de negro de carbón, 8 y 15 % de acero y 8 y 15 % de gas para capacidades de 10 a 12 toneladas por día en plantas modulares (Gallegos Fornazzari, 2022; Rivera Venegas, 2022). Estos parámetros coinciden con estudios de pirólisis de NFU que recomiendan el uso de partículas trituradas entre 6 y 10 mm y temperaturas de 500-550 °C para maximizar la estabilidad térmica y la calidad del biochar (Muhammad et al., 2023; Gao et al., 2022). De manera consistente, investigaciones de diseño y evaluación de plantas de pirólisis sitúan el rango operativo óptimo entre 450 y 550 °C (Pérez, 2021) (ver Tabla 6).

Tabla 6*Parámetros Operativos de Pirólisis de NFU Reportados en Estudios Internacionales*

Parámetro técnico	Rango reportado	Observación / Comentario	Fuente
Temperatura óptima (°C)	450 – 550 °C	Rango más eficiente para llantas OTR	Pérez (2021); Muhammad et al. (2023)
Rendimiento de biochar (%)	30 – 35 %	Depende del tipo de neumático	Gallegos Fornazzari (2022)
Rendimiento de aceite (%)	35 – 45 %	Incrementa a partir de 500 °C	Gao et al. (2022)
Rendimiento de gas (%)	8 – 15 %	Utilizable como energía interna	Rivera Venegas (2022)
Rendimiento de acero (%)	8 – 15 %	Origen: alambres interiores	Rivera Venegas (2022)
Tamaño de partícula	6 – 10 mm	Requisito para craqueo térmico uniforme	Muhammad et al. (2023)
Capacidad modular	10 – 12 t/día	Tamaños recomendados para zonas mineras	Gallegos Fornazzari (2022)

Nota. Adaptado de Rivera Venegas (2022), Gallegos Fornazzari (2022), Gao et al. (2022), Muhammad et al. (2023).

Con base en toda esta evidencia, el PMV se define como una planta modular de pirólisis con capacidad aproximada de 10 toneladas diarias de NFU tipo OTR, operando entre 450 y 550 °C, con alimentación de partículas de 6-10 mm y una producción estimada de 3-4 toneladas diarias de biochar. Este biochar debe cumplir los siguientes estándares derivados de la literatura: pH entre 7,5 y 9,5, carbono orgánico mayor al 45-50 %, porosidad superior al 50 %, densidad aparente menor a 0,40 g/cm³ y capacidad comprobada para incrementar la retención hídrica del suelo, mejorar la porosidad y reducir la densidad aparente (Moreno Mesa et al., 2025; Mendis et al., 2021) (ver Tabla 7).

Tabla 7

Especificaciones Mínimas del Producto Mínimo Viable (PMV) del Biochar y de la Planta Modular de Pirólisis

Componente	Especificación PMV	Sustento científico
pH del biochar	7.5 – 9.5	Alcalinidad mejora suelos ácidos (Moreno Mesa et al., 2025)
Carbono orgánico (%)	> 45 %	Rango estable para uso agrícola (Mendis et al., 2021)
Porosidad (%)	> 50 %	Mejora infiltración y retención (Mendis et al., 2021)
Densidad aparente (g/cm ³)	< 0.40	Reduce compactación del suelo (Mendis et al., 2021)
Retención de agua del suelo (%)	+25 a +31 %	Confirmado en suelos tratados (Moreno Mesa et al., 2025)
Temperatura de pirólisis (°C)	450 – 550	Rango óptimo de conversión (Pérez, 2021)
Tamaño de partícula	6 – 10 mm	Para máxima eficiencia térmica (Muhammad et al., 2023)
Capacidad modular	10 t/día	Escalabilidad para minería (Gallegos Fornazzari, 2022)
Producción diaria de biochar	3 – 4 t/día	Rendimiento típico de NFU (Rivera Venegas, 2022)

Nota. Adaptado de los estudios revisados.

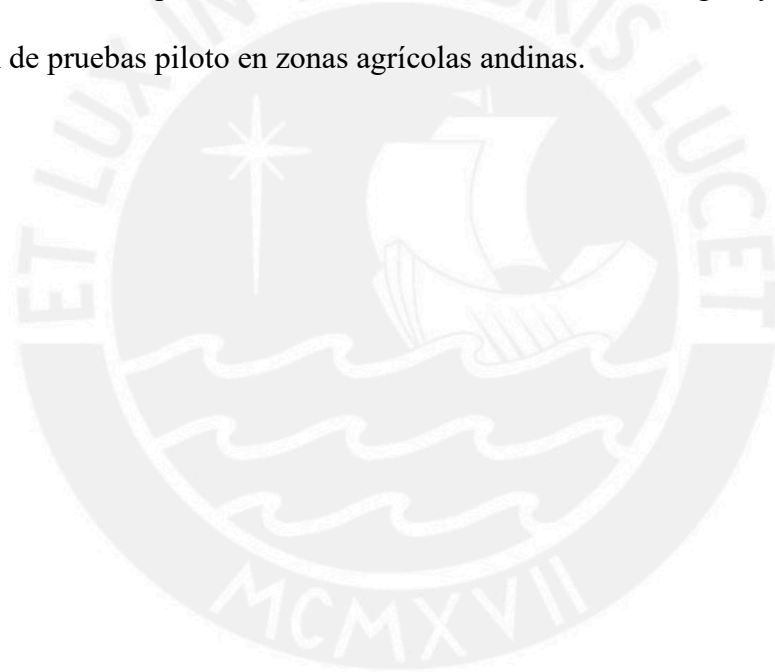
Tabla 8

Comparación Estructural y Agronómica de Biochar Agrícola y Biochar de Caucho

Propiedad	Biochar agrícola	Biochar de NFU (caucho)	Observaciones
pH	7.8 – 10.2	7.76	Ambos poseen alcalinidad favorable
Carbono orgánico (%)	45 – 70 %	≈ 50 %	Comparable para agricultura
Porosidad (%)	48 – 70 %	61.53%	Biochar de NFU está dentro del rango
Densidad aparente (g/cm ³)	0.17 – 0.35	0.2	Muy similar al agrícola
Retención de agua (%)	+25 – 31 %	No se reporta en NRTWC, pero su porosidad lo sugiere	Se infiere buen desempeño

Nota. Adaptado de Mendis et al. (2021), Moreno Mesa et al. (2025).

De acuerdo con los valores comparados en la tabla 8, el biochar producido a partir de NFU presenta propiedades fisicoquímicas similares a las del biochar agrícola convencional. Esto respalda su viabilidad técnica, especialmente en prácticas de agricultura sostenible, mejorador de suelos degradados y proyectos de economía circular. Finalmente, aunque la planta de pirólisis recientemente reportada en Arequipa constituye un antecedente relevante, la inexistencia de publicaciones técnicas verificadas sobre sus condiciones de operación impide considerarla una referencia experimental para este estudio. De este modo, el PMV propuesto se fundamenta en estándares internacionales robustos que permiten establecer especificaciones mínimas replicables, reducir la incertidumbre tecnológica y orientar la futura implementación de pruebas piloto en zonas agrícolas andinas.



Capítulo V: Modelo de Negocio

En el presente capítulo se detalla la estructura de la iniciativa, delineando cómo se generará valor desde una perspectiva estratégica y operativa. Este apartado abarca los elementos clave del modelo de negocio, incluyendo la propuesta de valor, segmentos de clientes, recursos y estructura de costos. Además, se realiza un análisis de la viabilidad financiera mediante la metodología TAM/SAM/SOM y proyecciones de escalabilidad. Finalmente, se integran los principios de sostenibilidad social y los indicadores de éxito que guiarán la implementación y el crecimiento del proyecto.

5.1 Modelo de Negocio

Con base en lo mencionado en los puntos anteriores, se presenta el Lienzo de Modelo de Negocio, que sintetiza la propuesta de valor considerando el público objetivo, los canales y el tipo de relación que se busca establecer con los segmentos de clientes, las fuentes de ingreso, así como los principales elementos de la estructura de costos, junto con las actividades, recursos y socios clave. Como parte del fortalecimiento del análisis estratégico, se ha incorporado el Business Model Canvas (BMC) con el objetivo de presentar de manera clara y estructurada los nueve bloques fundamentales del modelo de negocio. Este lienzo permite visualizar cómo se genera, entrega y captura valor en el proyecto. A continuación, se describen los elementos clave que sostienen la propuesta:

Propuesta de Valor. Se transforma los neumáticos fuera de uso (NFU) del sector minero en biochar, un producto agrícola de alto valor. Con ello, se da solución a un problema ambiental crítico y, al mismo tiempo, se aporta al desarrollo agrícola sostenible y a la economía circular.

Segmentos de Clientes. Dirigido principalmente a empresas mineras que buscan una disposición adecuada de sus residuos, y a agricultores que necesitan mejorar la calidad de sus suelos con insumos sostenibles y accesibles.

Canales. A los clientes a través de ventas directas, alianzas con cooperativas agrícolas, ferias especializadas y plataformas digitales. También con gobiernos locales y ONG como socios de implementación.

Relación con los Clientes. Se busca relaciones de largo plazo, ofreciendo acompañamiento técnico, capacitaciones sobre el uso del biochar y seguimiento del impacto. El interés es construir confianza y generar valor conjunto.

Fuentes de Ingreso. Los ingresos provienen de la venta del biochar, contratos con empresas mineras para la gestión de NFU, consultorías técnicas, y potenciales fondos de apoyo a iniciativas sostenibles.

Recursos Clave. Se tiene una planta de pirólisis modular, un equipo técnico especializado, permisos ambientales, conocimientos técnicos en valorización de residuos y vínculos con actores del sector minero y agrícola.

Actividades Clave. Recolección y clasificación de NFU, transformados en biochar mediante pirólisis, se controla la calidad del producto, se gestiona su distribución y promueve su aplicación agrícola.

Estructura de Costos. Incluye la inversión inicial en equipos, costos operativos de transformación y logística, actividades de formación y sensibilización, mejoras del proceso y cumplimiento regulatorio.

Análisis del Rol de los Socios Estratégicos y su Impacto Potencial en el Negocio.

El rol de los socios estratégicos y su impacto potencial en el negocio dentro del modelo propuesto es fundamental para la viabilidad y el éxito de la economía circular, ya que ninguna entidad puede abordar de forma aislada la complejidad de la gestión de residuos y la creación de nuevos productos (ver figura 12). La colaboración entre diversos actores (simbiosis industrial) es clave para transformar los neumáticos fuera de uso (NFU) en biochar y aplicarlo en la agricultura, generando valor económico, social y ambiental (ver figura 13).

Figura 12

Socios Estratégicos Clave y su Rol

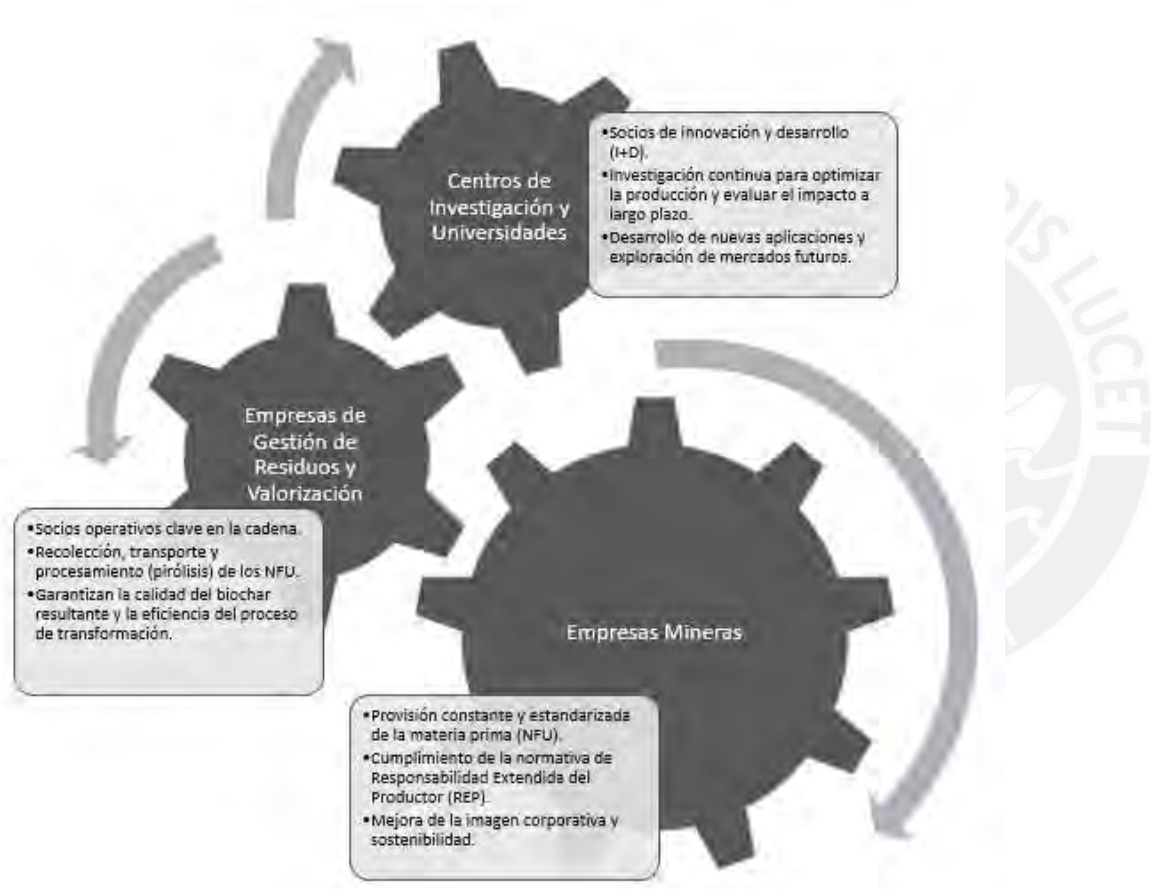
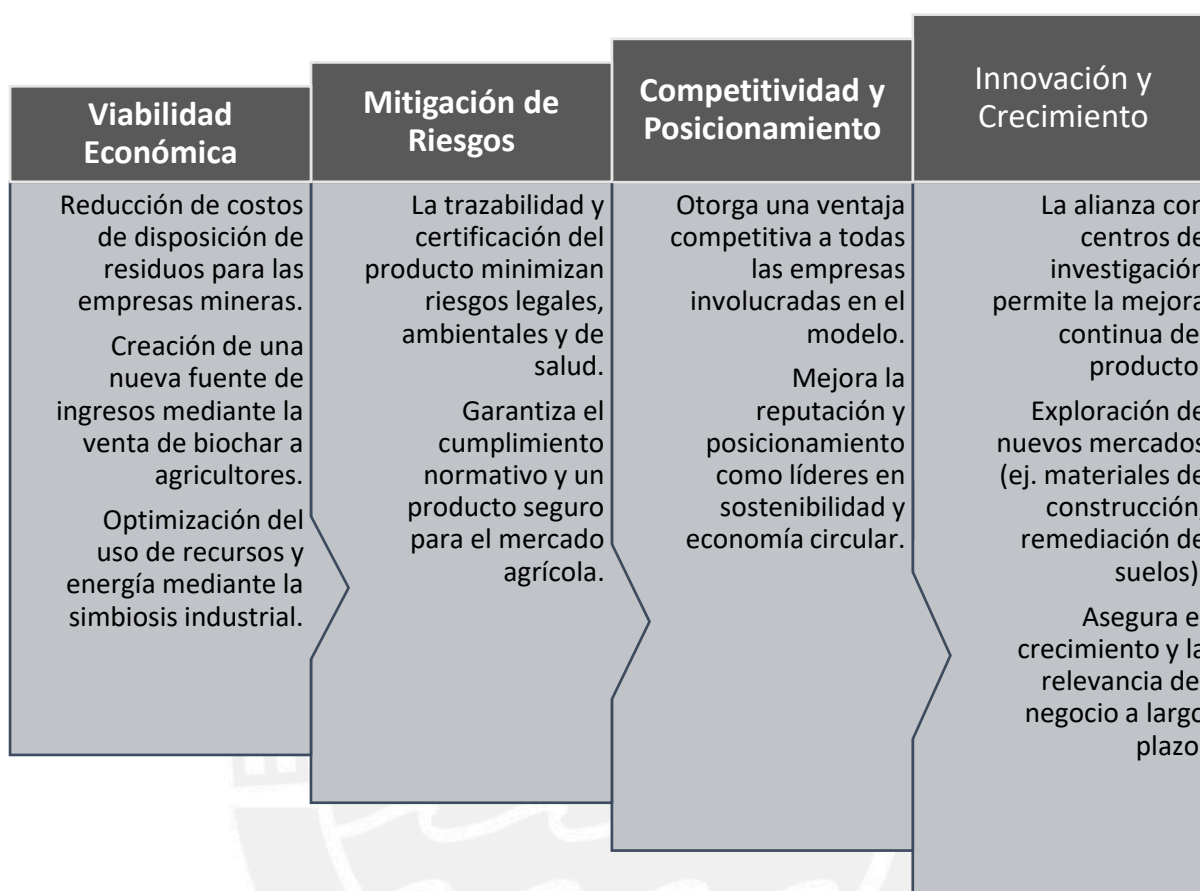


Figura 13

Impacto Potencial de los Socios Estratégicos en el Negocio



Al analizar la matriz Max Neef nos permite alinear mejor las propuestas de valor, canales de comunicación, mecanismos de vinculación y estructura de costos con los intereses reales de cada actor. Por ejemplo, en el caso de los agricultores, se prioriza una estrategia de educación técnica y acompañamiento en el uso del biochar, reforzando su participación y asegurando un enfoque agroecológico (Dufey et al., 2023). Para las empresas mineras, se enfatiza una propuesta orientada al cumplimiento normativo, la reducción de pasivos y la proyección reputacional positiva, mediante la valorización de sus residuos a través de un proveedor especializado. En el caso de las comunidades locales, el proyecto incluye una dimensión inclusiva con empleo formal, capacitaciones y trabajo comunitario, facilitando la apropiación social del modelo (Pinilla Forero & Pareja Ayerbe, 2023) (ver tabla 9).

Tabla 9

Matriz Integral Max Neef de Análisis de Actores Clave y Dimensiones de Interacción (Ser, Tener, Hacer, Estar)

Actor Clave	Necesidad	Ser (atributos)	Tener (recursos, bienes)	Hacer (acciones)	Estar (contexto)
Agricultores	Subsistencia	Productores resilientes, con visión a largo plazo	Biochar, suelos fértiles, fertilizantes orgánicos	Cultivar, regenerar suelos, asegurar cosechas sostenibles	En territorios rurales con degradación progresiva
Agricultores	Protección	Conscientes del riesgo ambiental y sanitario	Bioinsumos certificados, tecnologías limpias	Reemplazar agroquímicos, proteger salud del suelo	En ecosistemas frágiles y vulnerables
Agricultores	Participación	Empoderados, con voz en decisiones técnicas	Espacios de cogestión, redes de productores	Integrarse a cadenas de valor, aportar conocimiento local	En entornos colaborativos con enfoque territorial
Agricultores	Entendimiento	Proactivos, abiertos a la innovación	Asistencia técnica, módulos de capacitación	Aprender a aplicar biochar, capacitar a otros	En contacto con técnicos, universidades y ONGs
Empresas mineras	Subsistencia	Eficientes, operativamente sostenibles	Servicios de valorización, proveedores autorizados	Disponer residuos de forma segura y rentable	En cumplimiento con normas ambientales vigentes
Empresas mineras	Protección	Responsables social y ambientalmente	Certificaciones ESG, protocolos de seguridad	Minimizar pasivos ambientales, prevenir sanciones	Bajo escrutinio de stakeholders e inversionistas
Empresas mineras	Participación	Agentes de desarrollo local	Plataformas de gobernanza multiactor	Invertir, co-crear, soluciones con actores locales	En entornos de articulación público-privada
Empresas mineras	Entendimiento	Sensibles al contexto y aprendizaje continuo	Indicadores de impacto, reportes de sostenibilidad	Adoptar buenas prácticas, transferir conocimientos	En contacto con innovaciones tecnológicas y sociales
Comunidades locales	Subsistencia	Con deseos de mejora y autonomía	Empleos verdes, ingresos adicionales	Recuperar NFUs, trabajar en plantas de valorización	En situación de informalidad y vulnerabilidad laboral
Comunidades locales	Protección	Informadas, con expectativas de equidad	Regulaciones sociales, acceso a servicios básicos	Defender derechos, exigir condiciones dignas	En zonas expuestas a pasivos industriales
Comunidades locales	Participación	Incluidas, con capacidad de incidencia	Espacios de diálogo territorial, liderazgo comunitario	Participar en decisiones locales sobre residuos	En comunidades organizadas con potencial social
Comunidades locales	Entendimiento	Interesadas en el aprendizaje y la tecnología	Formación en economía circular, educación ambiental	Aprender nuevas formas de generar valor	En articulación con programas de responsabilidad social

5.2 Viabilidad Financiera del Modelo de Negocio

Para evaluar la viabilidad del modelo de negocio, se ha analizado el mercado potencial a través del TAM/SAM/SOM. El mercado potencial considera a 50,000 toneladas anuales de neumáticos fuera de uso (NFU) generadas por el sector minero en Perú. Considerando las variables mencionadas, el mercado potencial (TAM) sería alrededor de USD 50,000,000. Asimismo, para el mercado disponible con los recursos actuales, se seleccionó solo el porcentaje de NFU mineros generados en el sur del país (aproximadamente el 15%), medido por la capacidad operativa actual del proyecto. Considerando estas variables mencionadas, el mercado disponible para el servicio sería alrededor de USD 3,000,000. La proyección de colocación del producto/servicio será progresiva, considerando que se trata de una opción nueva en el mercado.

Cálculo del TAM. Para lograr calcular el TAM en el negocio es importante identificar del volumen de NFU tenemos que ayudarnos con la información que podamos investigar. En 2021, el Ministerio del Ambiente (MINAM) reportó el ingreso de 99,789 toneladas de neumáticos al mercado peruano, lo que representó un aumento respecto a las 92,659 toneladas en 2018 y las 55,673 toneladas en 2014 (Ministerio del Ambiente, 2021). Siguiendo esta tendencia, es razonable suponer que en 2024 la cantidad de neumáticos ingresados al mercado superó las 100,000 toneladas. Asimismo, se estima que aproximadamente el 50% de los NFU en Perú provienen del sector minero, principalmente debido al uso de maquinaria pesada y camiones gigantes (Revista Minería, 2023). El precio del caucho reciclado de neumáticos varía según el mercado y la calidad del material procesado. Aunque no se dispone de datos específicos para Perú, en mercados internacionales se estima que el caucho reciclado puede alcanzar un valor aproximado de 1,000 dólares estadounidenses por tonelada métrica, dependiendo de factores como la granulometría y el uso final del material (QuimiNet, 2024). Este precio puede fluctuar según la demanda

industrial y las políticas ambientales de cada país (ver Tabla 10).

Tabla 10

Cálculo del TAM

Concepto	Valor
NFU total estimado en Perú (2024)	100,000 toneladas
Porcentaje de NFU del sector minero	50%
NFU generados por la minería (2024)	50,000 toneladas
Precio del caucho reciclado por tonelada	1,000 USD/tonelada (QuimiNet, 2024)
TAM	50,000,000 USD

Cálculo del SAM. Para calcular el SAM de la empresa de reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en la zona sur del Perú, se sigue un enfoque estructurado que permite dimensionar el mercado potencial y nuestra capacidad operativa. De acuerdo con el "Mapa de Principales Unidades Mineras en Producción 2024" del MINEM, las regiones del sur del Perú, como Moquegua, Arequipa, Cusco y Ayacucho, concentran grandes operaciones mineras. Entre ellas, Quellaveco en Moquegua es una de las más relevantes (Gob.pe, 2024; Peru.AngloAmerican.com, 2024). Se estima que el 50% de los neumáticos desechados en Perú provienen del sector minero, principalmente debido a los camiones de acarreo gigantes (Revista Minería, 2023). Para determinar el SAM se analiza la capacidad de la empresa en términos de infraestructura, logística y procesamiento de NFU en la zona sur. Actualmente, estimamos que se puede atender el 10% del mercado de NFU mineros en esta región. Los startups ambientales deben proyectar entre 5% y 15% del mercado disponible como su SAM inicial para evitar sobreestimaciones (Osterwalder & Pigneur, 2010; Fagerberg, 2022) (ver Tabla 11).

Tabla 11*Cálculo del SAM*

Concepto	Valor
NFU generados por la minería en la zona sur (2024)	20,000 toneladas
Porcentaje de mercado atendible (SAM)	15%
SAM en toneladas (NFU reciclables por nuestra empresa)	3,000 toneladas
Precio del caucho reciclado por tonelada	1,000 USD/tonelada (QuimiNet, 2024)
SAM en valor monetario	3,000,000 USD

Cálculo del SOM. Para calcular el SOM del negocio, primero se identifica la cantidad total de NFU generados en el país. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM), en 2021 ingresaron al mercado peruano 99,789 toneladas de neumáticos, cifra que ha venido en aumento en los últimos años (Andina.pe, 2024). De este total, se estima que el 50% de los NFU en Perú provienen de la minería, debido al uso intensivo de maquinaria pesada y camiones de gran tamaño en las operaciones mineras (Revista Minería, 2023). Esto implica que aprox. 49,894.5 toneladas de NFU son generadas anualmente por el sector minero.

En cuanto a la distribución geográfica, el 25% de los NFU mineros en Perú provienen de la zona sur, donde operan importantes unidades mineras en regiones como Moquegua, Arequipa, Cusco y Ayacucho (Gob.pe, 2024). Esto permite estimar que las operaciones mineras en la zona sur generan 12,474 toneladas de NFU anualmente. Sin embargo, la infraestructura permite procesar 2,000 toneladas de NFU toneladas anuales (SMIA - Municipalidad de Lima, 2024) (ver Tabla 12).

Tabla 12*Cálculo del SOM*

Concepto	Valor
NFU generados en Perú (2024)	99,789 toneladas
Porcentaje de NFU mineros en Perú	50%
NFU generados por la minería	49,894.5 toneladas
Porcentaje de NFU mineros en zona sur	25%
NFU generados en la zona sur	12,474 toneladas
Capacidad de reciclaje de nuestra empresa	2000 toneladas anuales
Precio del caucho reciclado por tonelada	1,000 USD/tonelada
SOM en valor monetario	2,000,000 USD

TAM/SAM/SOM y precio estimado del biochar. El precio promedio de mercado del biochar activado en Perú se sitúa entre S/ 6.50 y S/ 7.00 por kilogramo, equivalente a aproximadamente USD 1.80 por kg, o USD 1,800 por tonelada. Tomando este valor de referencia y cruzándolo con el volumen estimado en cada segmento, se tiene lo mostrado en la Tabla 13. Este cruce confirma que, incluso con una participación inicial conservadora (SOM), el modelo tiene un potencial de ingresos superior a los USD 3.5 millones en una etapa inicial.

Tabla 13*Estimación de Ingresos Potenciales por Segmento de Mercado para Biochar*

Segmento	Toneladas	Precio Estimado (USD/t)	Ingreso Potencial (USD)
TAM	50,000	1,800	90,000,000
SAM	3,000	1,800	5,400,000
SOM	2,000	1,800	3,600,000

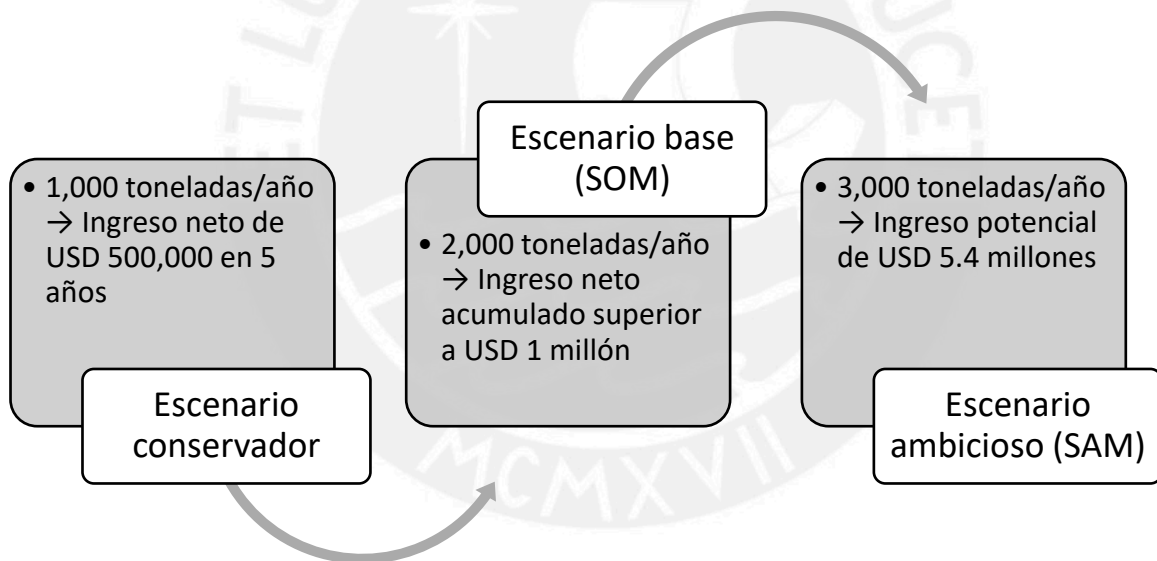
Análisis de punto de equilibrio. Considerando un precio de venta de USD 1,800 por tonelada y un costo unitario estimado de USD 1,300 por tonelada, el punto de equilibrio (breakeven) se alcanza aproximadamente al vender:

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Precio} - \text{Costo Variable}} = \frac{150,000}{1,800 - 1,300} = 300\text{t/año}$$

Escenarios de crecimiento. Se analizaron tres escenarios con base en la expansión progresiva de la capacidad operativa. Estos resultados demuestran que el modelo es financieramente viable incluso en escenarios conservadores, y tiene alto potencial de escalabilidad bajo condiciones favorables de inversión y alianzas estratégicas (ver Figura 14).

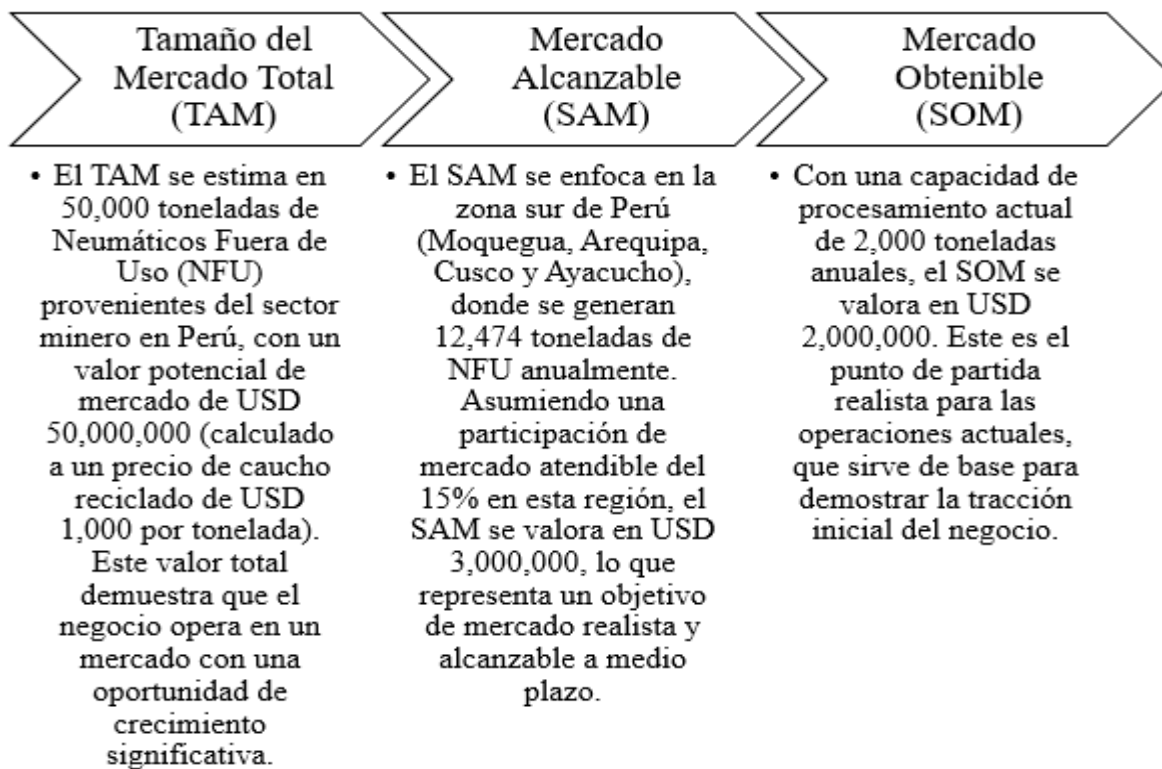
Figura 14

Escenarios de Crecimiento Operativo y Proyecciones Financieras



5.3 Escalabilidad/Exponencialidad del modelo de negocio

Uno de los principales factores que permite la escalabilidad del negocio es su enfoque en la optimización de recursos y el uso de tecnologías que facilitan la expansión sin un aumento proporcional de costos (ver figura 15).

Figura 15*Indicadores de Escalabilidad del Negocio*

Además, el modelo de operación modular nos permite replicar el proceso de reciclaje en diferentes regiones mineras sin necesidad de construir grandes infraestructuras. Por otro lado, el negocio también tiene elementos de crecimiento exponencial. A medida que más empresas mineras adopten prácticas de gestión sostenible de NFU, el volumen de neumáticos procesados aumentará de manera significativa. Esto genera un efecto de red, donde el crecimiento del sector impulsa la expansión. Por lo tanto, la combinación de infraestructura adaptable, diversificación de productos, alianzas estratégicas y tecnologías innovadoras permite que nuestro modelo de negocio crezca de manera escalable y con potencial de expansión acelerada en los próximos años. Para medir la tracción del negocio, nos enfocamos en indicadores clave que demuestran su aceptación en el mercado y su potencial de crecimiento (ver figura 16).

Figura 16

Factores Clave del Modelo de Negocio y Potencial de Crecimiento



Fases de Escalabilidad del Modelo de Negocio y KPIs Clave. El modelo de negocio ha sido diseñado para crecer de forma progresiva a través de una estrategia de escalabilidad modular, permitiendo una implementación inicial controlada y una posterior expansión territorial. Esta escalabilidad se fundamenta en la capacidad de replicar unidades operativas (plantas de pirólisis modulares) en nuevas zonas mineras, acompañadas de una red comercial y técnica adaptada a cada contexto. A continuación, en la tabla 14, se presenta el plan de expansión por fases, incluyendo indicadores clave de desempeño (KPIs) para monitorear su ejecución:

Tabla 14*Fases del Plan de Expansión*

Fase	Plan De Acción	KPI
Fase 1: Validación técnica y comercial (Año 1)	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación y operación de la planta piloto en zona minera del sur del Perú. • Producción inicial de biochar y validación de sus propiedades en suelos agrícolas. • Desarrollo de pruebas piloto con al menos 3 empresas mineras y 2 asociaciones agrícolas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción mínima de 100 toneladas de biochar. • Reducción de al menos 80 toneladas de NFU. • Satisfacción $\geq 80\%$ en usuarios piloto. • Ingreso bruto proyectado \geq USD 200,000.
Fase 2: Expansión regional controlada (Años 2 y 3)	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de una segunda planta modular en otra región minera (Arequipa, Moquegua o Cusco). • Consolidación de alianzas estratégicas con gobiernos locales y cooperativas agrícolas. • Incremento progresivo de la red de clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escalamiento a 600 toneladas de NFU tratados por año. • 2 nuevas alianzas institucionales consolidadas. • 6 empresas mineras integradas al modelo. • $\geq 30\%$ incremento en ventas anuales.
Fase 3: Replicabilidad multisectorial (Años 4 y 5)	<ul style="list-style-type: none"> • Replicación del modelo en otras regiones del país con alto volumen de NFU (Junín, Cajamarca, Apurímac). • Ampliación del portafolio de productos derivados del proceso de pirólisis (aceites industriales, acero reciclado). • Alianzas con instituciones académicas para validación científica y expansión internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 plantas modulares en operación. • 20 empleos verdes directos generados. • Reducción acumulada de 5,000 toneladas de NFU. • Ingresos anuales > USD 1.5 millones.

En la Figura 17 se muestra el Lienzo EXO aplicado al modelo de reciclaje de NFU, donde se identifican los elementos exponenciales que permiten escalar el proyecto tal como comunidad, algoritmos, interfaces y activos apalancados junto con el propósito transformador que orienta la solución hacia una gestión sostenible y de alto impacto ambiental y económico.

Figura 17

Lienzo EXO del Modelo de Reciclaje de NFU

ExO Canvas

Organization
Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

Date
02/03/2025

Done by
MBA ONLINE 2 / Grupo 8

GROUP Massive Transformative Purpose

"Transformar la gestión de neumáticos fuera de uso en la industria minera, impulsando una economía circular sostenible que reduzca la contaminación y genere valor ambiental y económico."

<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> i Information </div> <ul style="list-style-type: none"> - Disponemos de datos sobre la generación de NFU en el sector minero peruano y su impacto ambiental. - Necesitamos recopilar más información sobre la demanda de productos derivados del reciclaje en sectores agrícolas y energéticos. - Implementaremos sistemas de recolección de datos en tiempo real para optimizar el procesamiento y la logística. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 👤 Staff on Demand </div> <ul style="list-style-type: none"> - Crearemos una red de especialistas en reciclaje, logística y sostenibilidad que podrán ser contratados por demanda. - Colaboraremos con expertos en tecnología para el desarrollo de plataformas de trazabilidad de NFU. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🔗 Interfaces </div> <ul style="list-style-type: none"> - Plataforma digital que permitirá a las empresas mineras rastrear en tiempo real el procesamiento de sus NFU. - API para integrar el sistema de gestión de residuos con otras plataformas ambientales y gubernamentales. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🌍 Implementation </div> <ul style="list-style-type: none"> - Implementaremos una cultura organizacional basada en la sostenibilidad y la economía circular. - Se realizarán capacitaciones continuas para alinear al equipo con los valores del proyecto. - Todas las estrategias estarán alineadas con el propósito transformador del negocio. - Se establecerán indicadores clave para medir el impacto ambiental, económico y social. - Se diseñarán mecanismos para que cada decisión operativa contribuya al MTP. - Fase piloto con la primera planta de reciclaje en una zona minera clave. - Expansión regional mediante la replicación del modelo en otras regiones mineras. - Desarrollo de proyectos de I+D para mejorar la eficiencia del reciclaje y nuevos usos de NFU.
	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 👥 Community & Crowd </div> <ul style="list-style-type: none"> - Colaboración con comunidades agrícolas para promover el uso de biochar y fuentes empresariales como fertilizantes. - Participación en foros y eventos del sector minero para fomentar la asociación de soluciones de reciclaje. - Creación de programas educativos sobre economía circular en escuelas universitarias y gobiernos locales. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 📊 Dashboards </div> <ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo de métricas clave como volumen de NFU procesados, reducción de emisiones de CO2 y eficiencia logística. - Reportes automáticos para clientes y reguladores sobre el impacto ambiental positivo del reciclaje. 	
	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🧠 Algorithms </div> <ul style="list-style-type: none"> - Algoritmos predictivos para estimar la generación de NFU en función de la actividad minera. - Modelos de análisis de datos para mejorar la eficiencia del reciclaje y la conversión de materiales. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🧪 Experimentation </div> <ul style="list-style-type: none"> - Pruebas piloto en regiones mineras estratégicas para validar la escalabilidad del modelo. - Innovaciones en procesos de pirólisis y separación de materiales para mejorar la eficiencia y reducir costos. 	
	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🏗️ Leveraged Assets </div> <ul style="list-style-type: none"> - Uso de infraestructura minera existente para la recolección y almacenamiento temporal de NFU. - Aprovechamiento de centros logísticos de comercio para optimizar la distribución de productos reciclados. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 👑 Autonomy </div> <ul style="list-style-type: none"> - Implementación de equipos descentralizados en distintas regiones para garantizar una operación ágil. - Empoderamiento de operadores locales para gestionar plantas modulares de reciclaje con autonomía. - Reducción de procesos burocráticos mediante la automatización de trámites y reportes. 	
	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🗣️ Engagement </div> <ul style="list-style-type: none"> - Programa de incentivos para empresas mineras que reciclen sus NFU con nosotros. - Campañas de concienciación en redes sociales y medios especializados. - Emisión de un sistema de recompensas para agricultores y clientes que adopten nuestros productos reciclados. 	<div style="text-align: center; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;"> 🌐 Social Technologies </div> <ul style="list-style-type: none"> - Uso de redes sociales para difundir y promover el valor del reciclaje de NFU. - Implementación de herramientas colaborativas para facilitar la interacción con comunidades y socios. 	

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.

ExO Canvas V2.0 Co-created by a group of innovation experts from all around the world. Further information at www.exocanvas.com

5.4 Sostenibilidad Social del Modelo de Negocio

El proyecto desea desarrollar un sistema sostenible enfocado en la valoración de NFU desde la producción de biochar y productos direccionados al área agrícola. Con ello se generarán beneficios ambientales, económicos y sociales. También, se considera como objetivos ambientales reducir la acumulación de NFU en vertederos y fomentar ecosistemas que mediante la conversión dé lugar a nuevos productos útiles para la agricultura, disminuir las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero evitando la incineración de neumáticos y mejorar la captura de carbono en suelos, promover la regeneración de suelos agrícolas degradados mediante la aplicación de biochar y con ello mejorar la retención de agua y fertilidad del suelo.

Por otro lado, como objetivos económicos se desea implementar un modelo de economía circular en el sector agrícola, transformando residuos en valor, fomentar la inversión en tecnología sostenibles para la conversión de NFU en biochar, con ello crear oportunidades de empleo, producción de biocarbón y distribución de este. Finalmente, en la sociedad, el proyecto se enfoca en generar impacto positivo en comunidades agrícolas brindando un producto sostenible, accesible y efectivo, educar y sensibilizar a la población sobre la importancia de la economía circular y cómo reutilizar y valorizar los residuos como los NFU. El modelo de negocio que presentamos se encuentra alineado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo cual refuerza su viabilidad y potencialidad de impacto positivo a nivel social, económico y ambiental. Esto nos permite contribuir directamente en la reducción de residuos por NFU y generar valor agregado con la producción de un nuevo producto y protección del medio ambiente (CEPAL 2024) (ver Tabla 15).

Principios de Sostenibilidad. El modelo de negocio propuesto se sustenta en un enfoque integral de sostenibilidad que articula tres dimensiones fundamentales: ambiental, social y económica. Esta visión está alineada con los principios de economía circular,

Tabla 15*Justificación de ODS Enfocado al Modelo de Negocio*

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Justificación
ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.	Fomenta el desarrollo de tecnologías innovadoras para la transformación de NFU en productos agrícolas.
ODS 12: Producción y consumo responsable.	Contribuye a la economía circular en la reutilización de residuos, evitando la contaminación ambiental.
ODS 13: Acción por el clima	Reducción de emisiones de carbono al evitar la quema de NFU y mejorar la captura de CO2 en los suelos agrícolas mediante el uso de biochar.
ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres	Favorece la restauración de suelos degradados con el uso de biochar, conservando la biodiversidad y la sostenibilidad agrícola.

buscando cerrar ciclos de materiales, minimizar residuos y maximizar el valor compartido para todos los actores involucrados.

- Economía circular: transformación de NFU en insumos agrícolas útiles mediante tecnología de pirólisis, reduciendo la presión sobre rellenos sanitarios y la contaminación por quema abierta.
- Rentabilidad compartida: distribución equitativa del valor generado entre empresas mineras, comunidades agrícolas y gestores ambientales.
- Regeneración: recuperación de suelos degradados mediante biochar, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y resilientes al cambio climático.
- Escalabilidad sostenible: expansión modular con mínimo impacto ambiental incremental, priorizando inclusión social y eficiencia energética.
- Trazabilidad y transparencia: medición de resultados e impactos mediante indicadores verificables, reportados periódicamente a socios y *stakeholders*.

Como se muestra en la Tabla 16, se definieron indicadores clave de éxito que abarcan las dimensiones económicas, sociales y ambientales del proyecto, estableciendo metas a cinco años y los métodos de verificación correspondientes. Estos KPIs permiten evaluar el desempeño integral del modelo, incluyendo ingresos, empleabilidad verde, recuperación de NFU y reducción de emisiones.

Tabla 16

Indicadores de Éxito (Económicos, Sociales y Ambientales)

Dimensión	Indicador clave (KPI)	Meta a 5 años	Método de verificación
Económica	Ingresos anuales por ventas de biochar	USD 1.5 millones	Estados financieros y registros contables
Económica	Punto de equilibrio alcanzado	Antes del año 3	Análisis financiero mensual
Social	Empleos verdes directos generados	≥ 20 empleos	Contratos y registros laborales
Social	Número de comunidades beneficiadas	≥ 5 comunidades rurales	Convenios, actas de colaboración
Social	Capacitaciones técnicas realizadas	≥ 15 talleres	Informes de ejecución y encuestas de satisfacción
Ambiental	NFU recuperados y valorizados	≥ 5,000 toneladas acumuladas	Registros operativos y certificados de tratamiento
Ambiental	Toneladas de CO ₂ evitadas (emisiones por quema de NFU)	≥ 10,000 tCO ₂ eq	Cálculos según metodología IPCC
Ambiental	Mejora en la calidad del suelo (retención de humedad y carbono)	+20% en suelos tratados	Análisis comparativos pre/post intervención
Económica	Ingresos anuales por ventas de biochar	USD 1.5 millones	Estados financieros y registros contables

Capítulo VI. Solución Deseable, Factible y Viable

En este capítulo se presenta la validación del modelo de negocio propuesto, abordando de manera estructurada los supuestos críticos, las pruebas realizadas, el feedback de los actores clave y los aprendizajes obtenidos, cuyos resultados se detallan en el Anexo F. A través de esta validación, se busca reforzar la viabilidad y pertinencia de la propuesta en contextos reales, con especial énfasis en su aplicación en zonas de influencia minera.

6.1 Validación de la Deseabilidad de la Solución

6.1.1 Hipótesis para Validar la Deseabilidad de la Solución

Para validar la deseabilidad de nuestra solución la cual plantea transformar Neumáticos Fuera de Uso (NFU) del sector minero en biochar mediante procesos de economía circular se formularon diversas hipótesis asociadas al modelo de negocio y la propuesta de valor (ver figura 18).

Figura 18

Matriz para Priorizar la Hipótesis



La matriz de priorización permitió identificar que la hipótesis H1 es crítica, ya que está directamente relacionada con la decisión de las empresas mineras de adoptar el servicio. Se priorizó para validación mediante entrevistas y recolección de cartas de intención (ver Tabla 17).

Tabla 17

Hipótesis Identificadas

Hipótesis	Relación con el modelo de negocio	Prioridad
H1: Las empresas mineras están interesadas en convertir sus NFU en biochar como parte de sus políticas de sostenibilidad.	Propuesta de valor, segmento de clientes	Muy Alta
H2: Las empresas mineras consideran que gestionar NFU bajo un enfoque de economía circular mejora su reputación corporativa.	Relación con clientes	Alta
H3: Las empresas mineras estarían dispuestas a firmar una carta de intención si el servicio les permite reducir riesgos ambientales y cumplir con regulaciones.	Fuentes de ingreso, alianzas clave	Alta
H4: Existe un interés real en establecer relaciones a mediano plazo para externalizar la gestión de residuos como parte de los objetivos ESG.	Canales, relaciones con clientes	Media

6.1.2 Experimentos Empleados para Validar las Hipótesis

Para validar la hipótesis principal (H1), diseñamos un experimento cualitativo con componente cuantitativo, basado en entrevistas semiestructuradas y solicitud de cartas de intención firmadas por parte de empresas mineras (ver Tabla 18) (ver Tabla 19).

Tabla 18

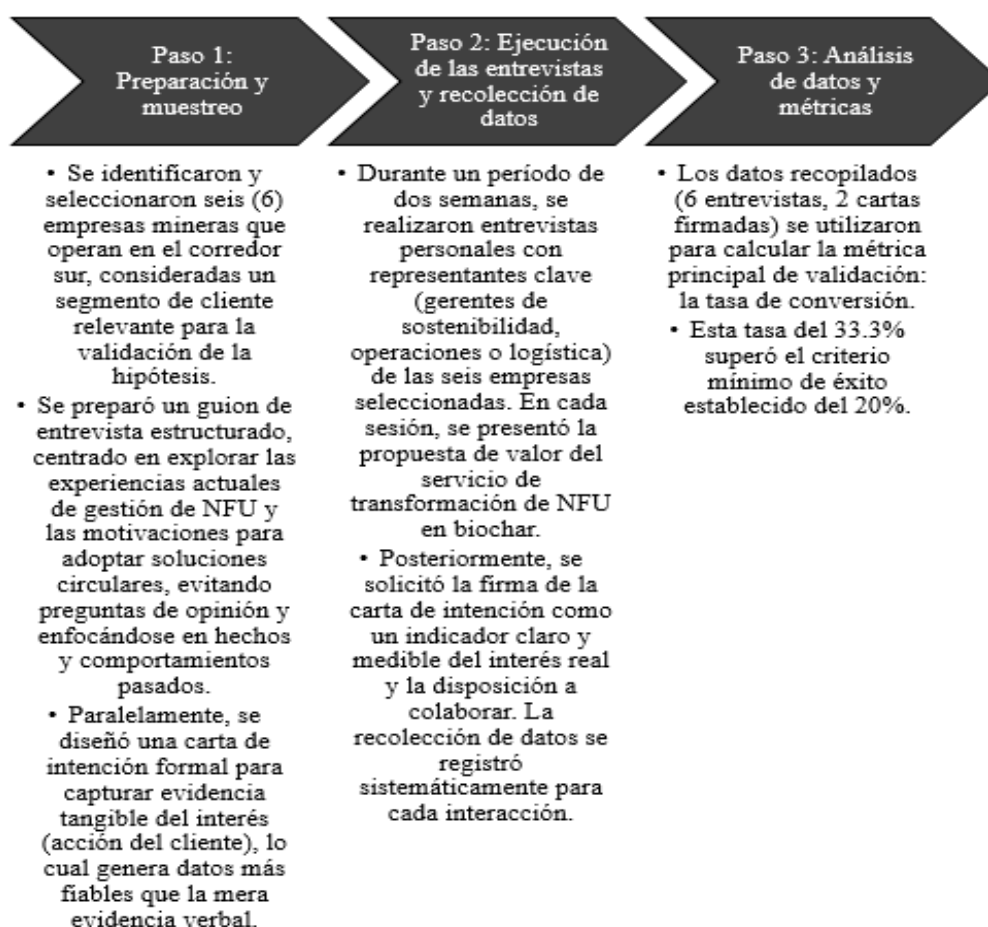
Diseño Experimental para Validar las Hipótesis

Actividad	Prueba de deseabilidad del servicio (tarjeta Strategyzer).
Método	Entrevistas personales con mínimo 5 empresas mineras + solicitud de carta de intención
Objetivo	Medir el interés real en gestionar los NFU mediante transformación en biochar

Tabla 19*Métricas Principales de Validación de las Hipótesis*

Indicador	% de empresas que firman cartas de intención tras la entrevista
Meta mínima	Lograr al menos un 20% de empresas entrevistadas que expresen formalmente su interés

El experimento de prueba de deseabilidad del servicio, basado en la metodología de la Tarjeta de Prueba (Test Card) de Strategyzer, se llevó a cabo siguiendo una serie de pasos rigurosos para garantizar la fiabilidad de los datos recopilados. (Ver figura 19)

Figura 19*Desarrollo del Experimento para Validar las Hipótesis*

Si bien la hipótesis principal H1 (existe interés en pagar por la recolección de NFU y valorar el biochar) se valida cuantitativamente, las observaciones cualitativas de las entrevistas (relatadas en la tarjeta de aprendizaje de la imagen) revelaron matices importantes. Específicamente, las empresas mineras mostraron un fuerte interés en los beneficios reputacionales asociados a la economía circular. Por otro lado, se identificó la necesidad de una mayor educación en el sector agrícola sobre las ventajas técnicas y agronómicas del biochar como insumo para cultivos (ver Tabla 20)

Tabla 20

Resultados del Experimento de Validación de Hipótesis

Entrevistas realizadas	6 empresas mineras del corredor sur
Cartas de intención obtenidas	2
Tasa de conversión	33.3%

Interpretación. La tasa de interés supera el umbral establecido (20%), validando así la hipótesis H1. Se concluye que existe una intención clara y verificable de colaborar con modelos circulares de gestión de NFU.

6.2 Validación de la Factibilidad de la Solución

Constituye una fase crítica e indispensable dentro del desarrollo del proyecto, cuyo propósito fundamental es determinar, de manera rigurosa y sistémica, si la propuesta de valor planteada no solo es técnicamente realizable, sino también comercialmente viable y operacionalmente sostenible en el mercado objetivo. Esta etapa trasciende la confirmación de la funcionalidad técnica del producto o servicio; se enfoca en mitigar los riesgos inherentes al emprendimiento mediante la recolección de evidencia empírica que justifique la inversión de recursos y la toma de decisiones estratégicas.

Dentro de la factibilidad comercial, el Plan de Mercadeo juega un papel protagónico. Este plan detalla las estrategias concretas para posicionar, distribuir y comunicar la solución. Su efectividad se valida mediante la definición precisa del Buyer Persona, una representación semificticia y detallada del cliente ideal (ver figura 20).

Figura 20

Imagen del Buyer Persona



El buyer persona actúa como el pilar que humaniza el mercado objetivo, permitiendo que cada elemento del marketing mix (producto, precio, plaza y promoción) se diseñe a medida para satisfacer sus necesidades específicas, superar sus objeciones y utilizar los canales que frecuenta. Por lo que la validación de la factibilidad de la solución es un ejercicio que proporciona la confianza necesaria para avanzar con la implementación a gran escala, asegurando que la solución "debe" construirse porque existe un camino claro y medible hacia el éxito comercial (ver Tabla 21 y ver Tabla 22).

Tabla 21

Información Demográfica de nuestro Buyer Persona

Nombre	Carlos García
Edad	45 años
Sexo	Masculino
Ubicación	Arequipa, Perú
Cargo	Gerente de Sostenibilidad
Educación	Ingeniero de Minas con especialización en Gestión Ambiental
Experiencia	20 años en la industria minera, 10 años en gestión de sostenibilidad

Tabla 22*Información Profesional del Buyer Persona*

Industria	Minería
Tipo de empresa	De gran minería, presencia internacional
Tamaño de la empresa	Más de 1,000 empleados
Ingresos anuales	Más de 500 millones de dólares

6.2.1 Plan de Mercadeo

Consiste en el diseño de las estrategias y acciones concretas para comercializar el producto o servicio y confirmar que existe un mercado viable y accesible para la solución propuesta. A diferencia de un estudio de mercado (que se centra en la investigación y el análisis del entorno), el plan de mercadeo se enfoca en el "cómo". El objetivo principal es asegurar que los objetivos comerciales son realistas y alcanzables con los recursos disponibles, y que la solución puede ser posicionada exitosamente en la mente del consumidor. En esta línea, el Buyer Persona cumple un rol fundamental y central, ya que actúa como el pilar sobre el cual se construyen y validan todas las estrategias comerciales. Su rol principal es el de humanizar y concretar el "mercado objetivo" para asegurar que la solución propuesta y las estrategias para comercializarla estén perfectamente alineadas con las necesidades y comportamientos del cliente real.

Segmento de Clientes Objetivo. El proyecto está dirigido a empresas mineras que necesitan soluciones eficientes para el reciclaje responsable de NFU, asimismo estamos enfocados en cooperativas agrícolas que buscan insumos sostenibles, y gobiernos locales que enfrentan desafíos ambientales por la acumulación descontrolada de estos residuos. Es decir que nos conectamos con un nuevo segmento de consumidores y emprendimientos que le dan gran valor el impacto social y ambiental positivo, y que ven en la economía circular una vía de innovación y rentabilidad (Fundación Ellen MacArthur, 2015).

Propuesta de Valor Diferenciada. Nuestra propuesta de valor radica en transformar

un problema ambiental en una oportunidad productiva. Gracias a las tecnologías de reciclaje avanzadas, como la pirólisis, se puede convertir los NFU en biochar, cenizas enriquecidas y aceites reutilizables. Estos productos no solo permitirán mejorar la fertilidad del suelo y reducir el uso de agroquímicos, sino que también disminuirán significativamente las emisiones de CO₂, lo que genera grandes beneficios ambientales y económicos (Lehmann & Joseph, 2015). A través de esta iniciativa, promovemos la economía circular, aportamos a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y se genera empleo en zonas vulnerables. Queremos que las acciones beneficien a las comunidades, al medio ambiente y a los aliados estratégicos.

Ventaja competitiva. La diferencia a comparación de otras soluciones disponibles en el mercado es que esta propuesta integra tres sectores clave: minería, reciclaje y agricultura. Esta articulación multisectorial nos permite agregar valor en distintas etapas del ciclo de vida del neumático. Además, el enfoque de diseño centrado en el usuario permite co-crear soluciones directamente con los actores involucrados (Brown, 2009). El producto no solo cumple una función técnica, sino que aborda motivaciones reales: reputación corporativa, reducción de costos, sostenibilidad ambiental y contribución social.

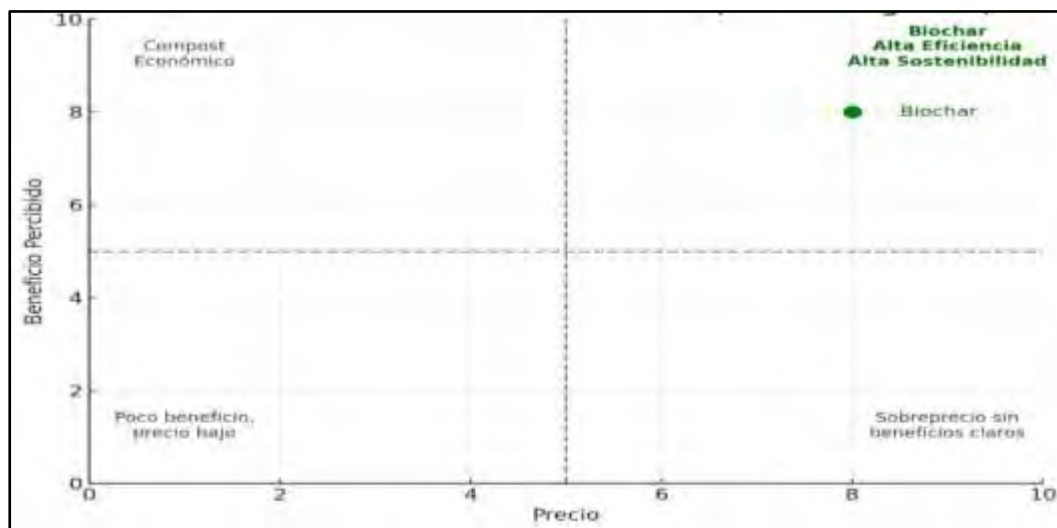
Personalidad y Valores de Marca. Se concibe como empresa responsable, innovadora, colaborativa y comprometida con el desarrollo sostenible. Las empresas deben ser agentes de cambio positivo, y por eso se trabaja desde el propósito. La cultura organizacional está guiada por los principios de transparencia, eficiencia y equidad. La inspiración es la posibilidad de dejar un legado transformador, y hacer que la sostenibilidad sea accesible, rentable y deseable para todos los sectores involucrados (Porter & Kramer, 2011).

Posicionamiento Estratégico. Se transforma neumáticos mineros en soluciones agrícolas sostenibles, conectando minería, reciclaje y agroindustria para construir un Perú

más verde, rentable y justo. Se quiere ser un puente entre industrias que normalmente no se conectaban, generando un impacto ambiental positivo y una propuesta de valor tangible (ver figura 21).

Figura 21

Matriz de Posicionamiento del Biochar (Mercado Agrícola)



El biochar se posiciona como un insumo agrícola de alto valor agregado, dado su impacto positivo en la fertilidad del suelo, la retención de agua y la captura de carbono, lo cual responde a las necesidades actuales de sostenibilidad en la agricultura. Su precio, aunque más elevado que el de insumos tradicionales como el compost, se justifica por sus beneficios a largo plazo en la regeneración del suelo y la reducción del uso de fertilizantes químicos. Este posicionamiento estratégico lo sitúa en un cuadrante de precio medio-alto y alto beneficio percibido, ideal para mercados conscientes del impacto ambiental (Lehmann & Joseph, 2015) (ver figura 22).

Marketing Mix. El modelo de negocio aplica una mezcla de marketing centrada en diferenciarse por sostenibilidad, utilidad agrícola y cumplimiento ambiental. El objetivo del negocio es transformar el 20% los neumáticos fuera de uso de las empresas mineras en biochar y productos agrícolas sostenibles para diciembre del 2025 (ver figura 23).

Figura 22

Objetivos del plan de Marketing

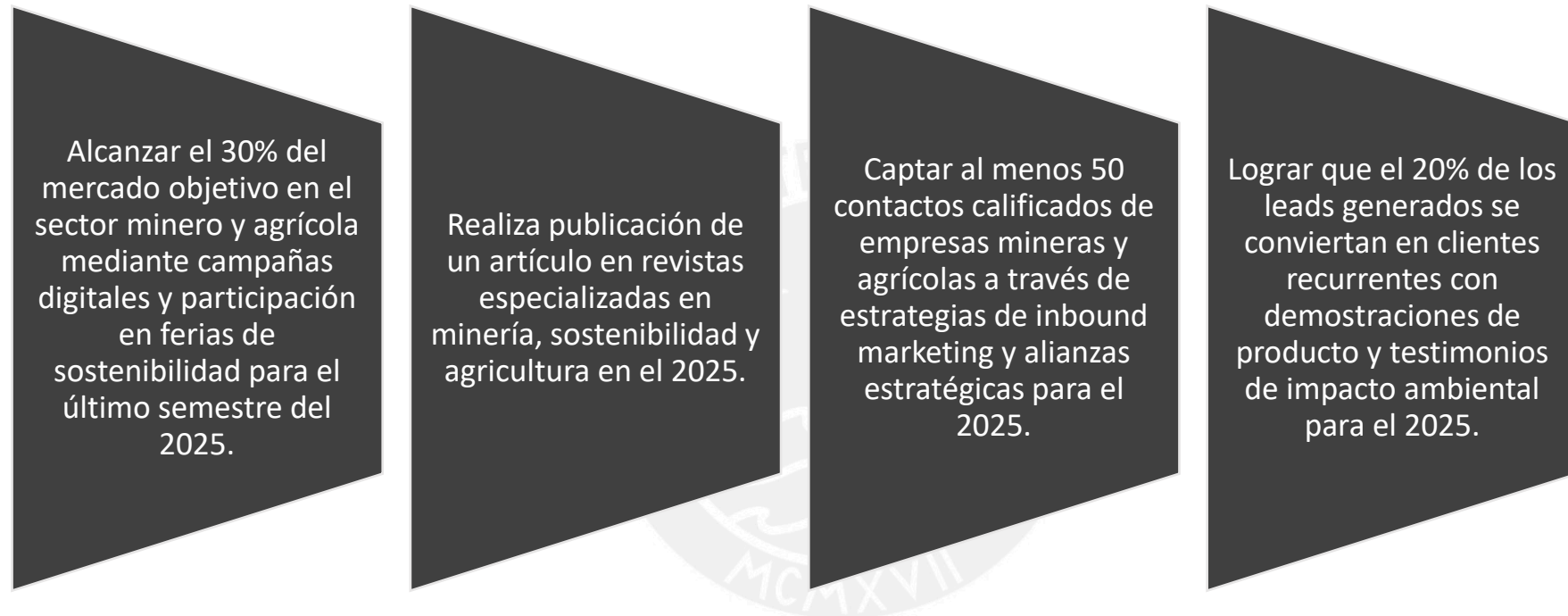
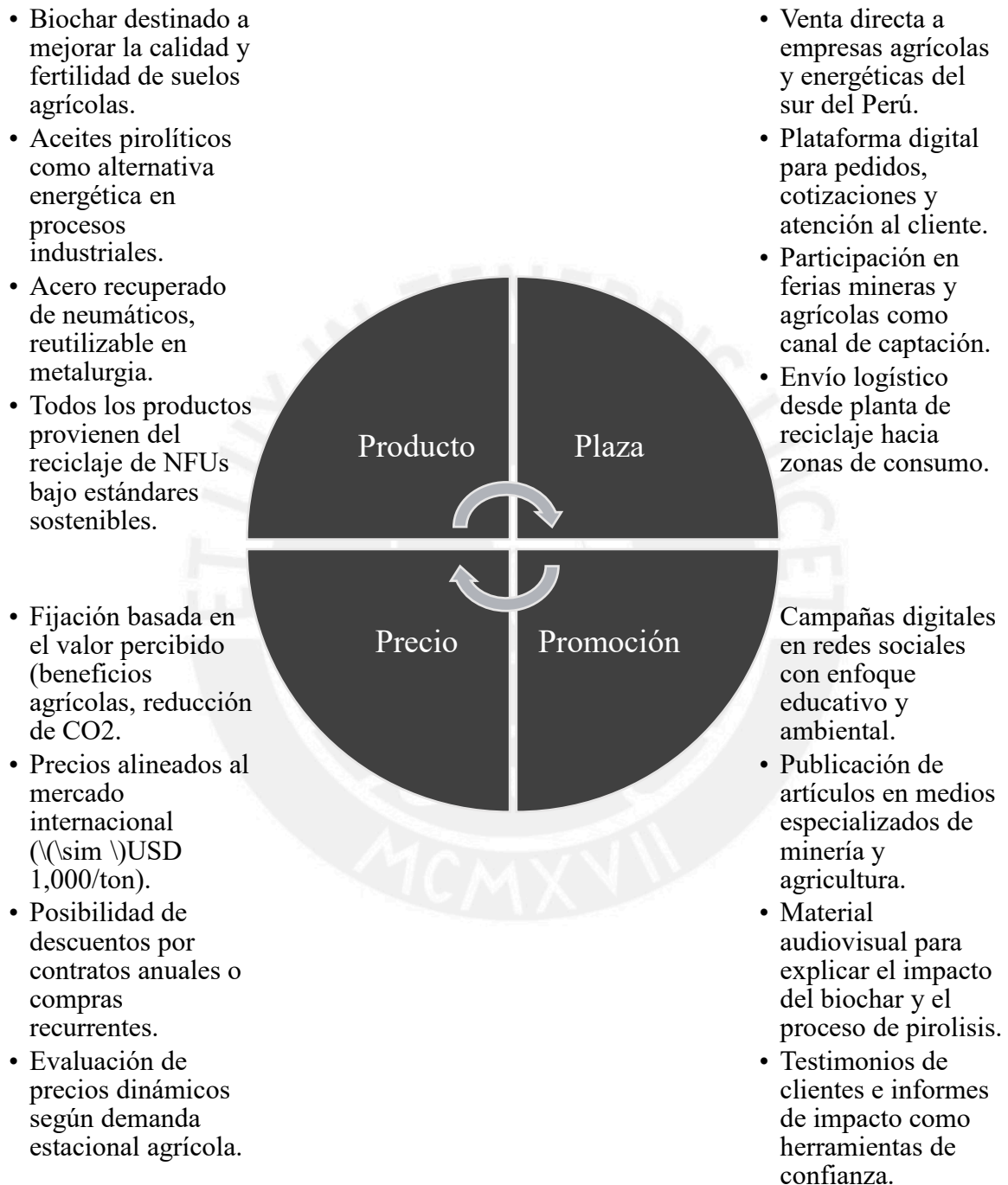


Figura 23*Estrategia de las 4 P's del Marketing Mix*

En la estrategia se prioriza las relaciones directas y especializadas con empresas mineras mediante contenido técnico y alianzas sectoriales del sur del Perú para establecer contratos de recolección y reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFUs), aprovechando su necesidad de cumplir con normativas ambientales y sus compromisos de sostenibilidad, en concordancia con las disposiciones establecidas en el Decreto Supremo N.º 024-2021-MINAM sobre la gestión ambiental de residuos sólidos peligrosos (Ministerio del Ambiente del Perú, 2024) (ver figura 24).

Figura 24

Elección de Estrategias de Marketing a seguir



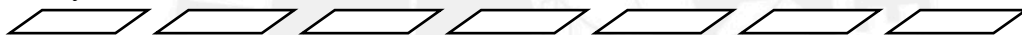
Dado que el modelo de negocio está orientado exclusivamente a brindar servicios de reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFUs) a empresas del sector minero, la estrategia de marketing debe adaptarse a un entorno B2B (business to business), caracterizado por ciclos de venta más largos y decisiones tomadas por equipos técnicos y de gestión ambiental. En ese

contexto, la estrategia más adecuada no se basa en la publicidad masiva o en redes sociales generalistas, sino en enfoques más directos, informativos y técnicos. Por ello, se opta por una estrategia centrada en Marketing de Contenidos, complementada por Relaciones Públicas B2B, en línea con las recomendaciones de marketing industrial que destacan la importancia de generar confianza, demostrar *expertise* técnico y educar al cliente en entornos de alta especialización (Kotler & Pfoertsch, 2006; HubSpot, 2023). El Marketing de Contenidos permite posicionar a la empresa como experta en sostenibilidad minera, valorización de residuos y economía circular (ver figura 25).

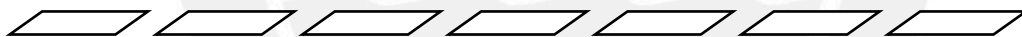
Figura 25

Expectativas de la combinación de Marketing de Contenidos y Relaciones Públicas B2B

El Marketing de Contenidos permite educar e informar con artículos, casos de uso y materiales técnicos.



Se genera posicionamiento como empresa especializada en valorización de residuos mineros.



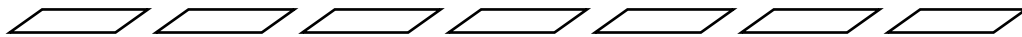
Las Relaciones Públicas B2B permiten contacto directo con responsables de sostenibilidad y operaciones.



Esta combinación permite alinear el servicio con los objetivos ESG de las empresas mineras.



Es una estrategia más efectiva y realista que el uso de redes sociales masivas o publicidad generalista



Esta combinación permite generar confianza, resolver objeciones técnicas y presentar el servicio como una solución alineada a sus metas ESG (*Environmental, Social and Governance*), lo cual es clave en un entorno con crecientes regulaciones ambientales y presión por la sostenibilidad operativa (Content Marketing Institute, 2023; Deloitte, 2023).

Ahora, como parte de la estrategia de marketing de contenidos, se contempla un plan de publicación en redes sociales profesionales, principalmente LinkedIn, orientado a la divulgación técnica, la visibilidad institucional y la generación de confianza en el sector minero (ver figura 26). Como se detalla en la Tabla 23, se elaboró un calendario de contenidos que distribuye semanalmente los formatos, plataformas y mensajes clave, alineados con los objetivos de educación, visibilidad y generación de *leads*.

Figura 26

Pilares de la Implementación del Marketing de Contenidos

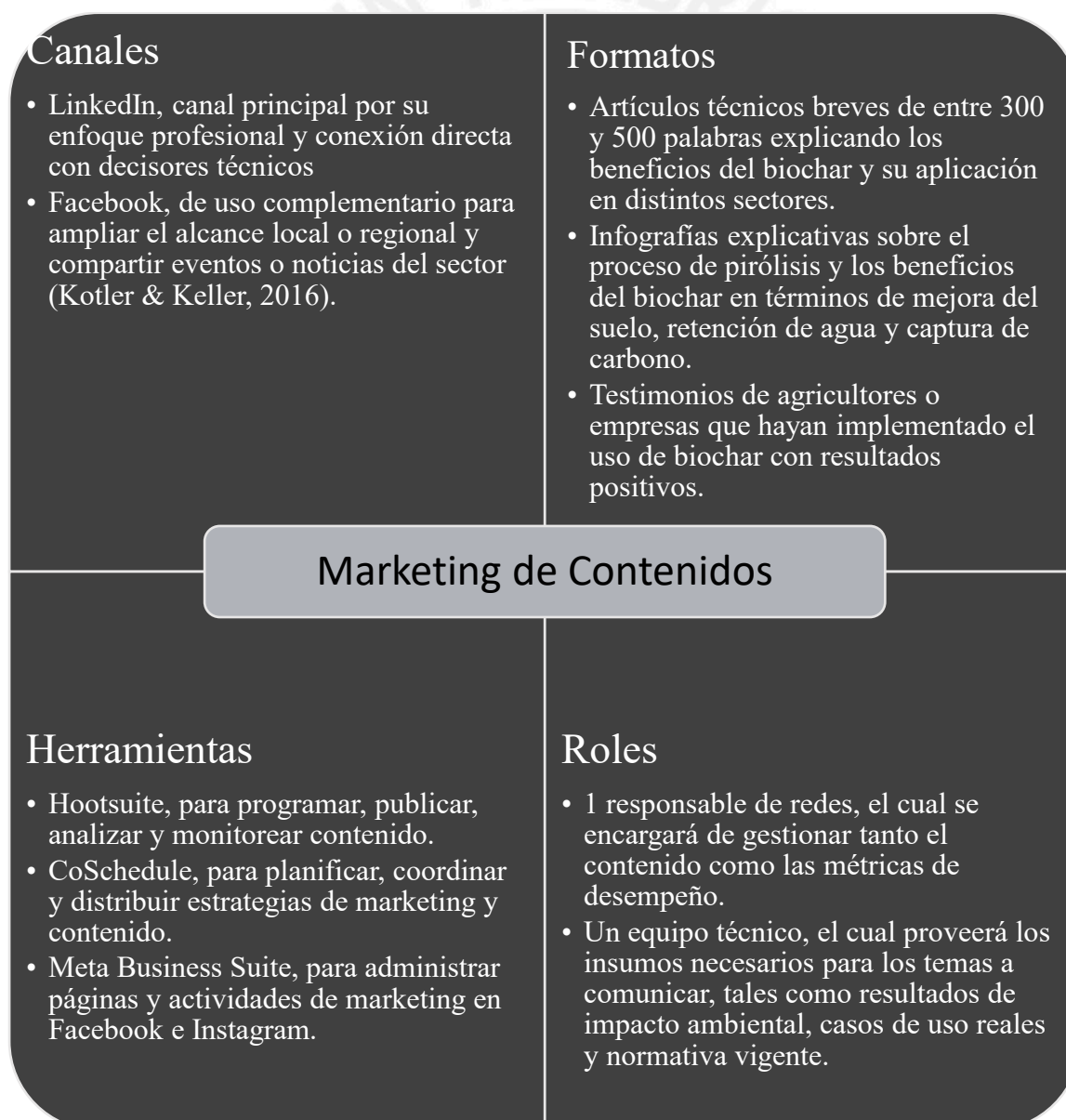


Tabla 23*Calendario de Contenidos*

Semana	Día	Plataforma	Tipo de contenido	Tema / Título tentativo	Objetivo
1	Mar	LinkedIn	Artículo técnico	"¿Qué hace una mina responsable con sus neumáticos usados?"	Educar / posicionar
1	Vie	Facebook	Infografía	Ciclo del reciclaje de NFUs: de pasivo ambiental a biochar	Visibilidad / educativo
2	Lun	LinkedIn	Testimonio (gráfico + texto)	"Así ayudamos a reducir la huella de carbono en minería"	Generar confianza
2	Jue	LinkedIn	Microvideo (1 min)	¿Qué es la pirolisis y cómo funciona en minería?	Explicar proceso técnico
3	Mar	Facebook	Noticia del sector	Normativa del MINAM sobre residuos industriales	Relevancia normativa
3	Vie	LinkedIn	Artículo técnico	"5 beneficios del biochar en suelos agrícolas del sur del Perú"	Mostrar valor del subproducto
4	Lun	LinkedIn	Infografía	Comparativa: disposición final vs valorización de NFUs	Mostrar propuesta de valor
4	Jue	Facebook	Invitación a contacto	¿Tu empresa necesita gestionar NFUs? Escríbenos	Generar leads

Se utilizarán herramientas, como *Hootsuite* o *Meta Business Suite*, para programar el contenido con antelación, asegurando una gestión eficiente de las publicaciones. Se mantendrá una frecuencia mínima de dos publicaciones por semana, siendo LinkedIn el canal principal debido a su enfoque profesional y B2B. Además, se revisará el desempeño de las publicaciones semanalmente, considerando métricas como 'likes', comentarios y clics con el objetivo optimizar los temas futuros en función del interés de la audiencia.

Así también, como parte de la estrategia de Relaciones Públicas B2B, el objetivo es tener contacto directo con tomadores de decisión en empresas mineras, comunicar de forma personalizada el valor del servicio y cerrar acuerdos de colaboración para la recolección y reciclaje de NFUs. La siguiente tabla 24 se muestra el detalle de la estrategia a desarrollar con las empresas mineras en el momento del contacto directo.

Tabla 24

Estrategia de Relaciones Públicas B2B

Público objetivo	Gerentes de sostenibilidad, superintendentes o jefes de medio ambiente, áreas de operaciones o logística en unidades mineras, y responsables de cumplimiento ESG o de certificaciones ambientales
Canales	Participación en ferias y eventos del sector, como PERUMIN, Rumbo a PERUMIN o ExpoMina, ya sea con un stand propio o como visitante con una agenda de reuniones previamente coordinada. Establecimiento de alianzas con gremios o asociaciones mineras, tales como el IIMP, la SNMPE o cámaras regionales.
Acciones	Envío de una propuesta técnica personalizada en un documento de 5 páginas, que incluya el diagnóstico del problema, la propuesta del servicio y los beneficios concretos. Reuniones uno a uno, virtuales o presenciales, gestionadas a través de contacto directo o referencias del sector. Cumplimiento normativo, los estándares ambientales, certificaciones como la ISO 14001 y la trazabilidad como parte del respaldo técnico ofrecido.
Herramientas de apoyo	Una carpeta comercial, tanto en formato digital como impreso, que resuma la propuesta de valor del servicio. Un video (1 min) del proceso Un brochure con el detalle de los beneficios ambientales y económicos Un testimonio o caso piloto validado.

La IA también puede potenciar la producción de contenido visual atractivo e informativo, lo cual es fundamental para explicar procesos técnicos como la pirólisis o destacar los beneficios del biochar de forma accesible. Se emplearán herramientas como Synthesia, que permite generar videos cortos con presentadores virtuales a partir de texto; Canva con Magic Design, ideal para la creación rápida de infografías y presentaciones gráficas; y Lumen5, que transforma diferentes artículos o textos técnicos en videos animados. Estas plataformas facilitan la generación de materiales didácticos y promocionales sin

requerir conocimientos avanzados en diseño o edición, lo que mejora la comprensión del mensaje y fortalece el posicionamiento como referentes en sostenibilidad minera (Gartner, 2023).

Indicadores de Éxito. Los objetivos para 2025 incluyen captar al menos 50 leads calificados del sector minero, lograr 10 reuniones de presentación del servicio y concretar un mínimo de 3 contratos con minas activas antes de diciembre de dicho año.

Presupuesto del Marketing. Para implementar una estrategia de marketing efectiva y alineada con los objetivos de sostenibilidad y cumplimiento ambiental, se ha establecido un presupuesto detallado que se distribuye en varias áreas clave. Cada una de estas áreas tiene como objetivo fortalecer la presencia de la empresa en el sector minero, generando valor a través de servicios de reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFUs). A continuación, se explica cada una de estas áreas y las actividades que se desarrollarán en cada una (ver Tabla 25).

Marketing del Producto. El objetivo es resaltar el valor del reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFUs) como una solución para las empresas mineras que buscan cumplir con las normativas ambientales. Para ello, se desarrollarán materiales informativos y propuestas personalizadas que comuniquen de manera clara los beneficios y la relevancia de los servicios. Esta estrategia responde a las tendencias actuales del marketing B2B en sectores regulados, donde la personalización de contenidos y el enfoque en el cumplimiento normativo son claves para generar confianza y facilitar la toma de decisiones (Deloitte, 2023).

Marketing de Contenidos. A través de contenido técnico y especializado, nos posicionaremos como expertos en sostenibilidad minera. Publicaremos artículos, infografías y otros materiales que expliquen el proceso de reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFUs) y los beneficios que este representa para las empresas mineras, tanto en términos operativos

como de cumplimiento ambiental. Este enfoque está alineado con las mejores prácticas en marketing de contenidos B2B, donde compartir conocimiento técnico de forma clara y constante fortalece la credibilidad de la marca y facilita la conversión de clientes en sectores altamente especializados (Content Marketing Institute, 2023).

Publicidad Pagada. Utilizaremos plataformas como LinkedIn para llegar a los decisores clave del sector minero, complementando con anuncios en Facebook para ampliar nuestro alcance a nivel local. La publicidad será clave para aumentar la visibilidad y posicionar los servicios como una solución ambientalmente responsable. Este enfoque multicanal responde a las recomendaciones actuales en marketing digital B2B, donde LinkedIn se posiciona como la red más efectiva para llegar a profesionales de industrias específicas, y Facebook permite segmentar audiencias por ubicación e intereses ambientales y empresariales (Statista, 2023).

Relaciones Públicas. Las relaciones públicas B2B nos permitirán establecer conexiones directas con empresas mineras, participar en ferias y eventos del sector, y generar confianza mediante un contacto personalizado. Esta estrategia fortalecerá el posicionamiento como aliados técnicos y sostenibles dentro de la industria. Las relaciones públicas en entornos B2B son especialmente efectivas para construir reputación, facilitar negociaciones y abrir oportunidades de colaboración en mercados donde las decisiones son tomadas por múltiples actores y requieren validación técnica (Forbes Communications Council, 2023).

Branding y Creatividad. Se desarrollará una identidad sólida que refleje el compromiso con la sostenibilidad, asegurando que todos los elementos visuales y comunicacionales transmitan de manera coherente nuestros valores. Esto incluye el diseño de materiales de marca como logotipos, paletas de colores e infografías, con el objetivo de garantizar que el mensaje sea claro, profesional y consistente a lo largo de todos los canales. La creación de una identidad visual coherente es fundamental para generar confianza,

diferenciarse en mercados B2B y comunicar propósito, especialmente en sectores vinculados a la sostenibilidad (Lucidpress, 2023).

Eventos. La participación en conferencias y ferias relevantes permitirá aumentar la visibilidad en el sector minero, generando oportunidades de networking y posicionamiento estratégico. Además, se organizarán eventos propios como webinars y charlas técnicas para educar a los actores del sector sobre reciclaje, economía circular y sostenibilidad. Este tipo de actividades son altamente efectivas en entornos B2B, ya que permiten demostrar experiencia, fortalecer la confianza con potenciales clientes y generar demanda informada (Bizzabo, 2023).

Otros. Este rubro incluye herramientas de automatización, gestión de contenido y otras actividades que apoyan las estrategias anteriores, garantizando una ejecución fluida y eficiente de todo el plan.

6.2.2 Plan de Operaciones

Estrategia de Operaciones. En un contexto en el que el manejo de neumáticos fuera de uso (NFU) del sector minero presenta grandes retos, también hay oportunidades. Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2023), aproximadamente el 70 % de los NFU en Perú provienen de la gran minería, principalmente de camiones OTR (Off-the-Road).

Ubicación. La planta de operaciones estaría ubicada en la zona industrial de Huachipa, Lima Este, ubicación estratégica que garantizará eficiencia logística y cercanía a proveedores y clientes, por cercanía a operaciones mineras del centro del país (como Junín, Cerro de Pasco y Huancavelica), disponibilidad de terrenos industriales habilitados, acceso a vías logísticas que conectan con el puerto del Callao, y proximidad a centros de consumo agrícola y cementero (OEFA, 2022). Además, los estudios sobre logística inversa en residuos industriales demuestran que la ubicación de la planta impacta directamente en los costos de transporte, huella de carbono y tiempo de respuesta (Lehmann & Joseph, 2015). (Ver figura

27 y ver figura 28)

Figura 27

Taller 1 para Alquilar Urbania



Figura 28

Taller 2 para Alquilar Urbania



Estructura organizativa. Se considera implementar una estructura organizativa matricial que permita gestionar de manera transversal los flujos de trabajo entre áreas técnicas y estratégicas. Este enfoque facilitará la interacción fluida entre los equipos de producción, mantenimiento, logística, sostenibilidad y comercialización. De acuerdo con Martínez et al. (2013), este tipo de estructura es especialmente eficiente en plantas industriales pequeñas o medianas, ya que favorece la adaptabilidad, el control de calidad y la alineación con los indicadores clave de desempeño. Además, esta estructura facilitará el crecimiento a futuro, ya que puede replicarse fácilmente en nuevas sedes regionales sin generar duplicidad innecesaria de funciones.

El proceso productivo comprende la recepción del NFU, su trituración inicial y la descomposición térmica en la unidad de pirólisis. La secuencia completa de estas etapas se encuentra representada en el diagrama de flujo del Apéndice E.

Procesos clave. Se identificaron seis procesos claves para garantizar la operatividad integral de la planta.

El primero es la recolección y recepción de neumáticos fuera de uso (NFU), coordinada con empresas mineras mediante convenios logísticos. Luego, se realiza el corte mecánico y acondicionamiento de neumáticos OTR, cuya manipulación requiere maquinaria especializada debido a su gran volumen, que puede alcanzar hasta cinco toneladas por unidad. El tercer proceso es el pirólisis térmico, mediante la cual se descomponen los neumáticos en ausencia de oxígeno, evitando así emisiones contaminantes directas y obteniendo subproductos útiles (KalTire, 2023). A continuación, se lleva a cabo la separación de estos subproductos valorizables: biochar, acero, aceite pirolítico y gas sintético. Posteriormente, se realiza el almacenamiento y despacho de los productos finales, según sus características técnicas y los requerimientos del cliente. Finalmente, se asegura el monitoreo ambiental y el cumplimiento normativo, siguiendo los lineamientos establecidos en el Decreto Supremo 024-2021-MINAM y bajo la supervisión del OEFA (MINAM, 2024). Desde el primer proceso se contará con indicadores de eficiencia y trazabilidad, y la integración de tecnología digital para el control de procesos permitirá cumplir con estándares internacionales y mejorar de forma continua la operación (Lehmann & Joseph, 2015).

Tecnología Utilizada. Para lograr alcanzar los objetivos de eficiencia, implementaremos tecnología de pirólisis modular con capacidad de procesamiento de 10 toneladas por día. Esta tecnología ha sido seleccionada por su madurez industrial, bajo nivel de emisiones y alto nivel de valorización de subproductos, especialmente en el tratamiento de neumáticos mineros. Como señala KalTire (2023), esta tecnología ya ha sido probada con

éxito en el tratamiento de neumáticos OTR en países como Canadá y Chile, demostrando su viabilidad técnica y ambiental. Es importante contar con un reactor de pirólisis tipo discontinuo, un sistema de corte hidráulico de neumáticos, una unidad de condensación de vapores, filtros de emisiones y sistemas de recuperación de aceite y gas. Además, se integrará un software SCADA para el monitoreo en tiempo real de temperatura, presión y rendimiento del proceso. Esta implementación responde a las recomendaciones de Martínez et al. (2013), quienes logran destacar que el pirólisis aplicado a NFU permite obtener biochar con propiedades adecuadas para la agricultura (ver Tabla 26).

Tabla 26

Precio de Maquinarias para Pirólisis

Equipo	Proveedores	Página web	Precios (USD)
Reactor de pirólisis (tipo discontinuo)	Beston Group, Doing Group, Kingtiger	https://www.bestongroup.com/es/ https://www.doinggroup.com https://www.kingtigergroup.com	\$10,000 – \$50,000
Corte hidráulico de neumáticos	Eldan Recycling, CM Shredders, Made-in-China, Alibaba	https://www.eldan-recycling.com https://www.alibaba.com https://es.made-in-china.com	\$3,000 – \$12,000
Unidad de condensación de vapores	Incluido en equipos de pirólisis (Beston, Doing, Kingtiger)	https://www.bestongroup.com/es/	Integrado, costo incluido en el reactor
Filtros de emisiones (gases, polvo, COVs)	Dürr Group, AAF International, sistemas chinos	https://www.durr.com https://www.aafintl.com	\$8,000 – \$30,000
Sistemas de recuperación de aceite y gas	Parte del sistema de pirólisis (Beston, Doing)	https://www.bestongroup.com/es/	Integrado, sin costo adicional separado
Software SCADA (para control y monitoreo)	Siemens, Schneider Electric, Rockwell Automation, Ignition SCADA	https://new.siemens.com https://www.se.com https://www.rockwellautomation.com	\$3,000 – \$20,000

Recursos Humanos. Tras haber realizado un análisis sobre el equipo humano, es uno de los pilares fundamentales para el éxito de nuestra operación. La transformación de neumáticos fuera de uso (NFU) en insumos de valor agrícola requiere no solo tecnología adecuada, sino también personas comprometidas, capacitadas y alineadas con los objetivos del negocio. Por ello, la estrategia de gestión del talento está enfocada en garantizar la eficiencia operativa, el cumplimiento normativo y el desarrollo profesional del equipo, con un enfoque de responsabilidad social y territorial (ver Tabla 27).

Tabla 27

Personal Requerido

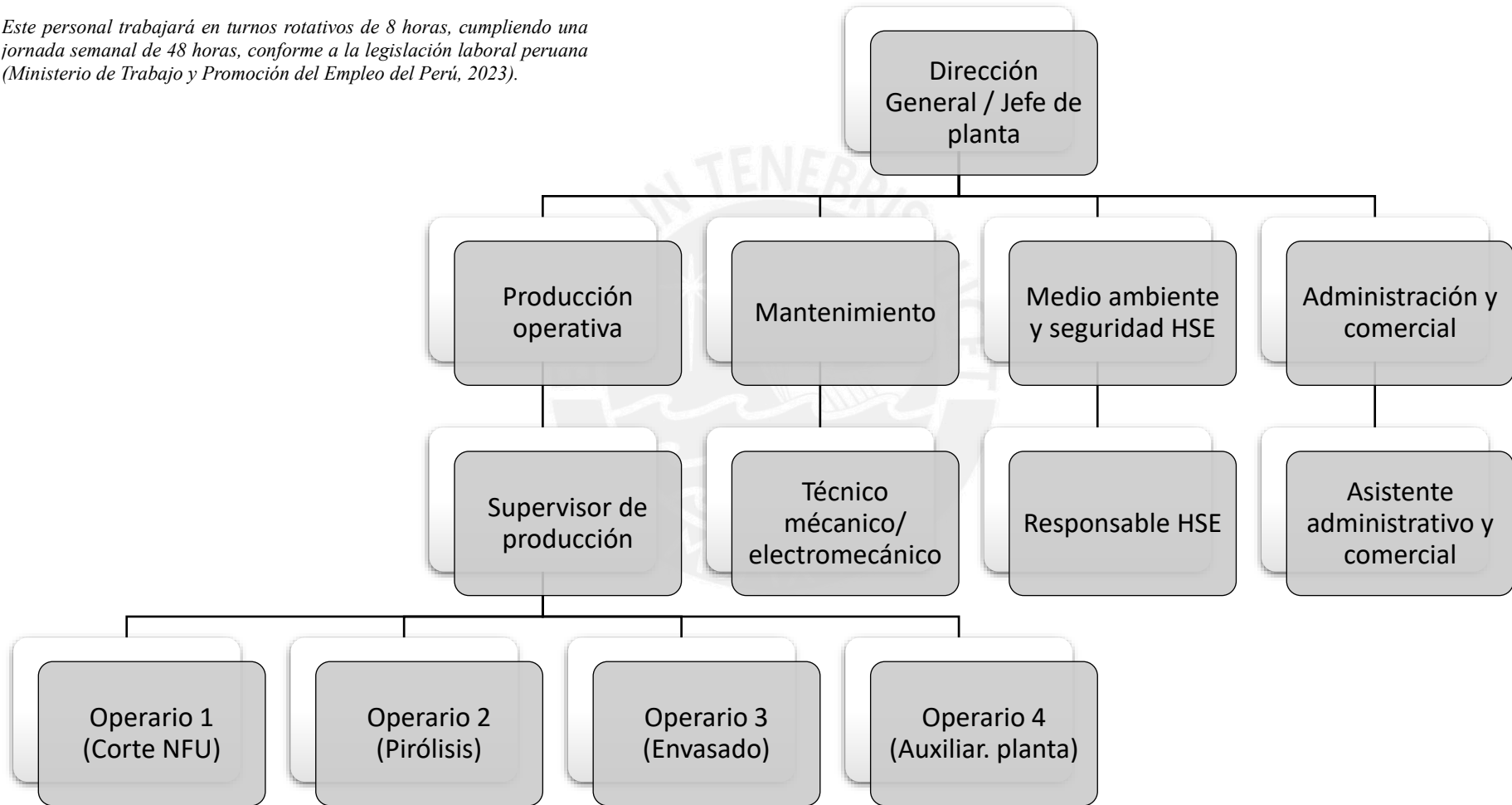
Área	Carga	Número de personas	Funciones principales	Sueldos
Dirección	Jefe	1	Supervisión general	8000
Producción	Operarios de Planta	4	Corte de neumáticos,	2200
Producción	Supervisor de Producción	1	Control de procesos, calidad,	4000
Mantenimiento	Técnico Mec	1	Reparación preventiva y correctiva	3500
Medio Ambiente	Responsable HSE	1	Supervisión ambiental, normativa OEFA, seguridad ocupacional	4500
Logística y Comercial	Encargado de almacén	1	Inventariar	2800
Administración	Asistente Administrativo	1	Administración y venta	2500

Número de empleados y funciones. En la fase inicial de operación, se ha considerado la necesidad de un equipo mínimo de 10 personas, con roles bien definidos que cubran todas las áreas críticas del negocio. Esta estimación está alineada con estudios técnicos sobre plantas de pirólisis de mediana escala (10 toneladas/día), como las descritas por KalTire (2023) y Martínez et al. (2013) (ver figura 29).

Figura 29

Organigrama

Este personal trabajará en turnos rotativos de 8 horas, cumpliendo una jornada semanal de 48 horas, conforme a la legislación laboral peruana (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú, 2023).



Requisitos de capacitación y desarrollo. Para asegurar la correcta ejecución de los procesos, estableceremos un programa inicial de capacitación técnica obligatoria, con énfasis en la capacitación técnica que incluirá aspectos clave como seguridad industrial y manejo de maquinaria, incluyendo reactores de pirólisis, sistemas hidráulicos y compresores. Además, se abordará la gestión de residuos peligrosos y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, conforme a las exigencias del OEFA y el MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú, 2024). Finalmente, se profundizará en los procesos de pirólisis y valorización de residuos, basados en estándares internacionales (Martínez et al., 2013; Lehmann & Joseph, 2015).

Prevención de riesgos laborales y primeros auxiliares en entorno industrial.

Además, se aplicará un modelo de aprendizaje continuo, donde cada operario tendrá un plan de desarrollo anual y podrá acceder a capacitaciones externas y certificaciones técnicas en convenio con SENATI o universidades locales. Este enfoque es clave para fortalecer la retención del talento, reducir la rotación y mejorar la eficiencia operativa (Porter & Kramer, 2011).

Políticas de contratación y retención. Es importante que la política de contratación priorice la inclusión de talento local en las zonas cercanas a la operación (como Ate, Lurigancho-Chosica y Santa Anita), promoviendo el desarrollo económico territorial. Esta estrategia responde a nuestra visión de generar valor compartido, en línea con experiencias exitosas de empresas sostenibles en Perú y Latinoamérica (Porter & Kramer, 2011; SNMPE, 2023). El proceso de selección incluye entrevistas técnicas, evaluación psicométrica básica y una inducción formal sobre la cultura organizacional. Asimismo, se ofrece condiciones laborales competitivas, incluyendo:

- Salario acorde al mercado ya la calificación técnica.
- Acceso a beneficios de ley y seguro complementario.

- Buen clima laboral y canales abiertos de comunicación interna.

Estas condiciones están orientadas a garantizar la estabilidad del equipo y fortalecer el compromiso organizacional, tal como lo recomienda la literatura sobre gestión de talento en industrias emergentes (Lehmann & Joseph, 2015; Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Enfoque organizacional y cultura interna. Crear una cultura basada en los principios de innovación, sostenibilidad y trabajo en equipo. Fomentando la participación de los trabajadores en la mejora continua de los procesos. El propósito compartido es convertir residuos contaminantes en productos de valor para la agricultura es nuestra mayor motivación como equipo. Implementaremos también un sistema de evaluación de desempeño semestral, con retroalimentación constructiva y oportunidades de mejora profesional. De esta manera, buscamos alinear los objetivos individuales con los de la organización, en línea con las buenas prácticas de liderazgo sostenible (Brown, 2009).

Gestión de la Cadena de Suministro. La gestión de la cadena de suministro es un eje estratégico del negocio, ya que la eficiencia depende directamente de la viabilidad económica, operativa y ambiental de nuestra empresa. Por ello, se planificó con detalle la adquisición de materias primas, el control de inventarios y la relación con proveedores, para garantizar una cadena de suministro eficiente, trazable y alineada con los principios de la economía circular. Nuestra materia prima principal son los neumáticos fuera de uso (NFU), especialmente los de gran tamaño (OTR), provenientes de empresas mineras del centro y sur del Perú. Estableceremos convenios formales con estas compañías para garantizar una provisión constante, segura y certificada. Esta estrategia responde al contexto nacional, donde según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2023), la minería genera más del 70 % de los NFU en el país. También contemplamos generar alianzas con municipalidades y empresas de transporte que generan neumáticos descartados, en línea con las oportunidades identificadas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2022).

Para la gestión de inventarios, se utiliza un sistema ERP como Odoo, que permitirá controlar la trazabilidad de cada neumático desde su recepción hasta su valorización final. Cada lote será clasificado por tipo, peso y origen, y se le asignará un código QR que facilitará el seguimiento logístico, la auditoría interna y el cumplimiento regulatorio. Esta trazabilidad está alineada con las mejores prácticas de gestión en cadenas sostenibles, según Porter & Kramer (2011). En cuanto a proveedores, priorizar trabajar con empresas locales certificadas para el transporte de residuos, mantenimiento de equipos industriales, suministro de combustibles y adquisición de repuestos; establecer contratos de mediano y largo plazo que garantizarán la continuidad operativa y promoverán la formalización de servicios. Asimismo, parte de la estrategia contempla que el trabajo directo con cooperativas agrícolas aceptables en recibir nuestros subproductos, como el biochar y la ceniza enriquecida, lo que fortalece la relación entre los sectores reciclador, minero y agrícola (Fundación Ellen MacArthur, 2015). Respecto a la logística de salida, consideramos que las rutas de distribución optimizadas para minimizar costos y emisiones, utilizando herramientas de planificación digital. Los productos valorizados se entregarán a clientes en presentaciones adaptadas a sus necesidades: sacos o big-bags en el caso del biochar.

Proceso de Producción o Prestación de Servicios. El proceso de producción ha sido diseñado para convertir neumáticos fuera de uso (NFU) bajo un enfoque de eficiencia energética, sostenibilidad ambiental y control de calidad, utilizando tecnología de pirólisis térmica, adaptada a las condiciones operativas del Perú (Lehmann & Joseph, 2023).

Recursos necesarios. Para operar con eficiencia desde el primer año, se cuenta con los siguientes recursos técnicos y humanos:

Infraestructura. Nave industrial de 1.500 m², áreas de corte, zona de almacenamiento, área de carga y descarga.

Maquinaria. Guillotina hidráulica, reactor de pirólisis, sistema de condensación, filtros

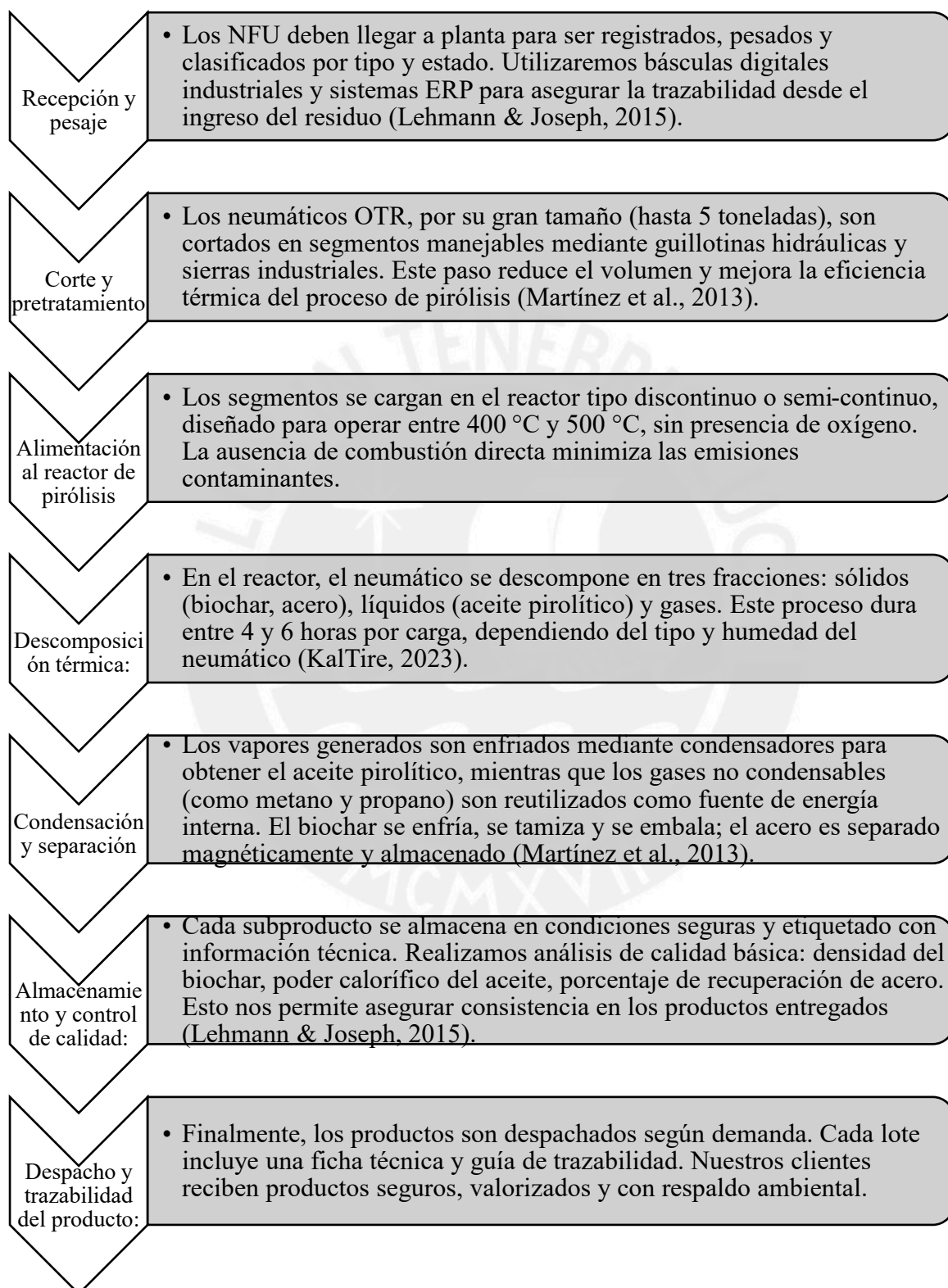
de gases, montacargas, balanzas industriales.

Sistemas. Por un lado, está la idea de implementar el ERP de control logístico, SCADA para monitoreo en tiempo real, software de trazabilidad. Por otro lado, en el marco de nuestra estrategia de digitalización operativa, se implementará una plataforma de atención al cliente y ventas basada en inteligencia artificial mediante un chatbot integrado en la página web del proyecto. Esta herramienta, desarrollada con tecnologías como ChatGPT, Dialogflow o Microsoft Azure Bot, permitirá responder consultas técnicas en tiempo real sobre el proceso de pirólisis, las propiedades del biochar y los beneficios de su uso agrícola (ver figura 30). Asimismo, automatizará la generación de cotizaciones personalizadas a partir de los requerimientos del cliente y facilitará la programación de reuniones, visitas o demostraciones técnicas con el equipo comercial. Esta innovación busca mejorar la experiencia del usuario, optimizar los tiempos de respuesta y fortalecer la conversión de leads en clientes recurrentes, alineándose con las tendencias globales de automatización en la atención B2B y el comercio digital (Accenture, 2022; Deloitte, 2023).

Personal. <10 colaboradores como se detalló en el punto de Recursos Humanos, incluyendo operarios capacitados, supervisores y responsables de medio ambiente.

Estándares de calidad. En cuanto a los estándares de calidad, nuestro compromiso es ofrecer productos, especialmente biochar, que cumplan con los criterios técnicos y que garanticen un impacto ambiental efectivo. Para ello, aplicaremos la norma ISO 9001 en la gestión de calidad de nuestros procesos de producción y en la documentación operativa. Asimismo, nos alinearemos con la norma ISO 14001 y el Decreto Supremo N.º 024-2021-MINAM para asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental peruana, así como una gestión ambiental eficaz en todas las etapas del proceso.

Para complementar, realizaremos ensayos de periódicos de laboratorio para verificar que nuestros productos cumplan con los parámetros técnicos establecidos. En el caso del

Figura 30*Pasos del Proceso Productivo*

biochar, se controlará que el contenido de carbono fijo sea de al menos 60 %. También se analizará la viscosidad y la composición del aceite pirolítico y evaluará la pureza del acero recuperado, en concordancia con los lineamientos del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2022). Por otro lado, el hará el uso de indicadores operativos (KPI) como rendimiento por tonelada, eficiencia térmica, tasa de valorización (%) y tiempo de ciclo por lote, los cuales nos permitirán monitorear y mejorar el desempeño.

Gestión de la tecnología. En la infraestructura tecnológica utilizará un sistema de pirólisis avanzada para la descomposición de los neumáticos fuera de uso (NFU) y su transformación en biochar. Previamente, se instalarán trituradores industriales que permitirán reducir el tamaño de los neumáticos antes de iniciar el proceso de pirólisis. Además, se contará con equipos de filtración para el control de emisiones gaseosas, así como con un laboratorio destinado al control de calidad del biochar producido. Se implementará un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la operatividad de los equipos. Además, se utilizarán sensores IoT para el monitoreo en tiempo real de temperaturas y emisiones durante el proceso de pirólisis. Complementariamente, se contará con un plan de capacitación continua del personal en seguridad industrial y en el manejo adecuado de los equipos.

Marketing y ventas. Existe una creciente regulación ambiental que obliga al sector minero a gestionar de forma adecuada los neumáticos fuera de uso (NFU), promoviendo prácticas responsables de disposición y valorización conforme a las exigencias del marco normativo vigente (Ministerio del Ambiente del Perú, 2024). Al mismo tiempo, se observa un alto interés en el sector agrícola por productos como el biochar, debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo, aumentar la retención de nutrientes y contribuir a la captura de carbono, en línea con los objetivos de agricultura regenerativa y mitigación del cambio climático (Lehmann & Joseph, 2015; FAO, 2023). La estrategia comercial contempla la

formación de alianzas con empresas mineras para la recolección de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante contratos de gestión de residuos, en cumplimiento con las normativas ambientales vigentes (Ministerio del Ambiente del Perú, 2024). Asimismo, se prioriza la comercialización de biochar y sus subproductos hacia el sector agrícola, donde existe una creciente demanda por soluciones que mejoren la salud del suelo y capturen carbono (FAO, 2023). Para facilitar el acceso al servicio, se implementará una plataforma digital que permita generar pedidos y cotizaciones en línea de forma ágil y eficiente. Finalmente, se promoverá la participación en ferias industriales y agrícolas como espacios clave para la captación de clientes y la consolidación de relaciones comerciales.

Simulaciones empleadas para validar las hipótesis. Con el objetivo de validar cuantitativamente la hipótesis H1 que sostiene que las empresas mineras están interesadas en convertir sus neumáticos fuera de uso (NFU) en biochar como parte de sus políticas de sostenibilidad, se desarrolló una simulación Monte Carlo aplicada al indicador de eficiencia del marketing, medido con el ratio VTVC/CAC (Valor del Tiempo de Vida del Cliente sobre el Costo de Adquisición de Clientes). El ratio VTVC/CAC compara el valor total que un cliente aporta a la empresa a lo largo de su vida útil con el coste incurrido para adquirir a ese cliente.

- Una ratio menor a 1.0 indica que la empresa está destruyendo valor.
- Una ratio mayor a 1.0 sugiere que se podría estar creando valor.
- Generalmente, una ratio mayor a 3.0 se considera "buena" o saludable, aunque esto puede variar según el contexto empresarial.

La simulación realizada a este ratio permitió analizar el comportamiento del modelo bajo cinco escenarios en términos de esperanza: desde el más optimista hasta el más pesimista. En el escenario más optimista, se asume que el ratio VTVC/CAC alcanza valores superiores a 10.57, lo que indica una alta eficiencia en la captación de clientes y un retorno

significativamente positivo sobre la inversión en marketing. En los escenarios neutrales, el indicador se ubica en 6.20 y 8.30, lo que refleja un modelo financieramente viable con buen rendimiento. En el escenario más pesimista, el ratio cae por debajo de 4.74, lo cual implicaría menor retorno por cada sol invertido en adquisición de clientes, pero teóricamente sin comprometer aún la sostenibilidad comercial del proyecto.

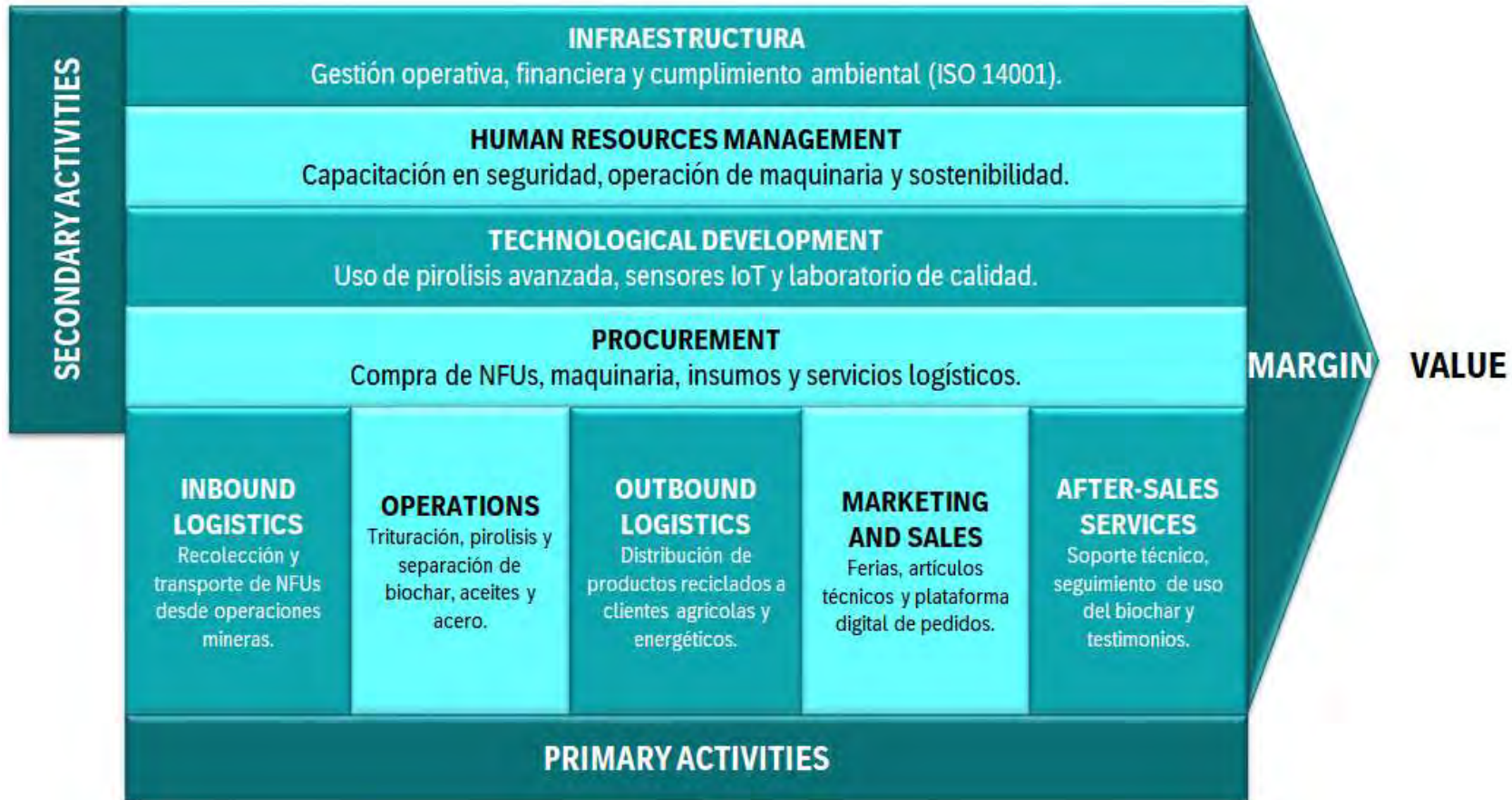
La simulación Monte Carlo se ejecutó con 5000 iteraciones, incorporando variabilidad aleatoria sobre las principales variables del modelo: ingresos esperados por cliente y costos de adquisición. Los resultados muestran una distribución normal centrada alrededor de un valor medio de 7.19, con una desviación estándar baja, lo cual evidencia estabilidad en el comportamiento del modelo frente a la incertidumbre. Los resultados detallados de la simulación Monte Carlo se presentan en el Apéndice H.

El análisis de los resultados indica que en el 100% de los escenarios simulados, la eficiencia del marketing (VTVC/CAC) fue superior a 3.40, lo que indica un bajo riesgo financiero. En consecuencia, la simulación respalda la viabilidad de la hipótesis H1, mostrando que el modelo propuesto tiene un desempeño robusto y consistente frente a posibles variaciones del entorno comercial. Para complementar la descripción de los procesos operativos y validar la coherencia del modelo propuesto, se incorporan a continuación dos representaciones visuales que permiten comprender de manera integral la organización del servicio y la generación de valor dentro del proyecto.

En la Figura 31 se muestra de manera estructurada la cadena de valor del modelo de reciclaje de neumáticos fuera de uso, detallando cómo se organizan las actividades principales y de apoyo. Esta representación permite comprender cómo se genera valor en cada etapa del proceso desde la recolección del residuo hasta la entrega de los productos finales y cómo dichas actividades se articulan para garantizar la eficiencia operativa y el cumplimiento de los objetivos del negocio.

Figura 31

Cadena de Valor



En la Figura 32 se presenta el *Service Blueprint* del proceso de reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) provenientes de compañías mineras, mostrando de manera estructurada cada una de las interacciones y actividades involucradas. El diagrama permite comprender el recorrido completo del servicio desde la solicitud inicial de información hasta la entrega del reporte de valorización, detallando las acciones del cliente, las actividades visibles e internas del equipo, los sistemas de soporte y la evidencia física generada en cada etapa.

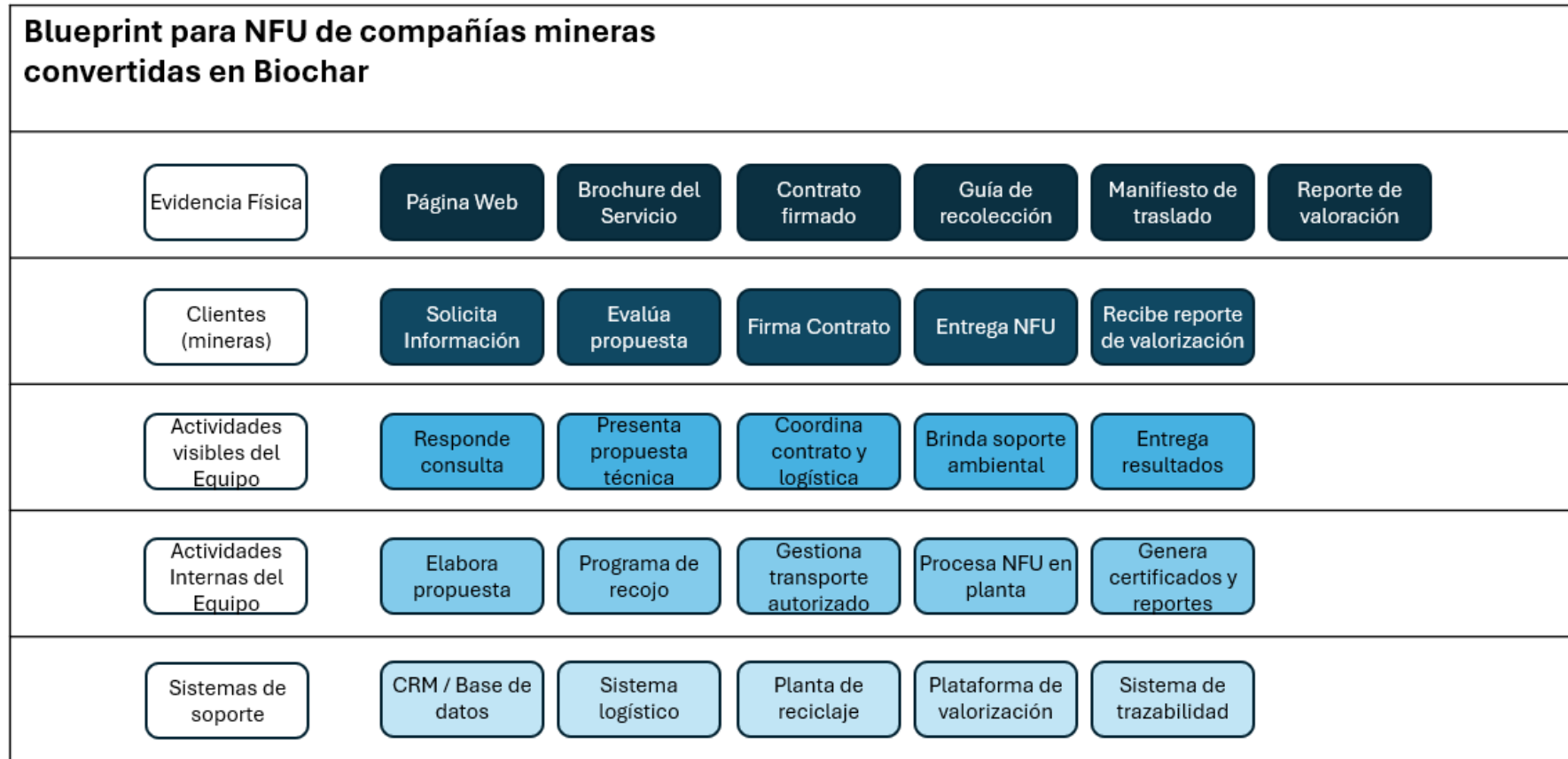
6.3 Validación de la Viabilidad de la Solución

La validación de la viabilidad es un proceso fundamental y clave en el desarrollo de cualquier modelo de negocio, ya que permite evaluar si una idea es técnica, financiera y comercialmente factible en un mediano y largo plazo. Por otro lado, según Barringer & Ireland (2020), validar la viabilidad de un negocio implica analizar las oportunidades del mercado, estructura de costos, requerimientos de inversión y sostenibilidad de ingresos proyectados en el tiempo. En el caso del presente modelo de negocio basado en la transformación de neumáticos fuera de uso (NFU) en biochar y productos agrícolas sostenibles, este proceso adquiere especial relevancia debido a la naturaleza en infraestructura y cumplimiento normativo del proyecto.

Para sustentar la viabilidad financiera es fundamental considerar indicadores como la solvencia, el cual mide la capacidad del negocio para responder a sus obligaciones en el tiempo. Se proyecta una relación de solvencia sólida dado que el modelo contempla ingresos derivados de contratos con empresa mineras por disposición responsable de NFU y de neta de biochar a asociaciones agrícolas. La viabilidad técnica también se ha abordado mediante pruebas piloto de aplicación de biochar en suelos como grupo control y comparativo con suelo de no grupo control, el cual permitirá evidenciar características referentes a mejoras de retención de humedad y pH en suelo con biochar a partir de NFU, estos resultados respaldan la viabilidad ambiental, agronómica del producto, reforzando su valor como solución

Figura 32

Service Blue Print



Nota. El presente Service Blueprint muestra de forma visual y estructurada el proceso completo del servicio de reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) provenientes del sector minero. Desde el primer contacto con la empresa minera hasta la entrega del reporte de valoración, se detallan las acciones del cliente, las actividades visibles e internas del equipo, así como los sistemas de soporte y la evidencia física generada.

sostenible. Por ende, tal como afirma Osterwalder et al. (2014), “la validación anticipada del modelo reduce la incertidumbre y guía decisiones estratégicas que maximizan el impacto y la sostenibilidad del negocio”.

6.3.1 Presupuesto de Inversión

El presupuesto de inversión inicial contempla un total de S/ 2,281,600, el cual se distribuye en activos tangibles e intangibles, gastos preoperativos y capital de trabajo. Los activos tangibles ascienden a S/ 750,000 e incluyen infraestructura de planta, equipos de reciclaje, manejo de neumáticos y sistemas de control. A esto se suman activos intangibles por S/ 100,000, correspondientes a licencias, investigación y desarrollo, y capacitación. Además, se consideran gastos preoperativos por S/ 31,600, destinados a publicidad de lanzamiento, constitución legal, trámites notariales y registro de marca. Finalmente, se estima un capital de trabajo de S/ 1,500,000 para asegurar la operatividad durante el primer año. La estructura financiera del proyecto está compuesta por un 40% de deuda (S/912,640) y un 60% de capital propio (S/ 1,368,960), lo que refleja una estrategia de financiamiento balanceada que permite apalancar la inversión inicial con una adecuada proporción de fondos propios y externos (ver Tablas 28, 29, 30, 31, 32 y 33).

Tabla 28

Activos Tangibles

Activos Tangibles	Monto
Infraestructura de la Planta	200,000
Equipos de Reciclaje	400,000
Equipos de manejo de neumáticos	100,000
Sistema de control y monitoreo	50,000
Total	750,000

Tabla 29*Activos Intangibles*

Activos Intangibles	Monto
Licencias y permisos	20,000
Investigación y desarrollo	50,000
Capacitación y desarrollo de personal	30,000
Total	100,000

Tabla 30*Total de Activos*

<i>Inversión</i>	<i>Monto</i>
Total Activos Tangibles	750,000
Total Activos Intangibles	100,000
Total Activos (S/)	850,000

Tabla 31*Activos e Inversión*

Inversión	Monto
Activos	750,000
Gastos Preoperativos	31,600
Capital de trabajo	1,500,000
Total	2,281,600

Tabla 32*Gastos Preoperativos*

Gastos Preoperativos	Monto
Publicidad de lanzamiento	30,000
Minuta de constitución	300
Gastos Notariales y registrales	800
Registro de marca	500
Total	31,600

Tabla 33*Estructura Financiera*

Estructura financiera	%	Valor
Deuda (D)	40%	912,640
Capital propio (E)	60%	1,368,960
Total de estructura		2,281,600

6.3.2 Análisis Financiero

La estrategia comercial del proyecto está orientada exclusivamente al segmento de gran minería, conformado por 51 empresas de alta capacidad operativa. Se proyecta capturar de forma sostenida una participación de mercado del 10% anual, equivalente a 3 clientes corporativos por año durante todo el horizonte financiero de 10 años. Esta concentración en clientes de gran escala permite asegurar contratos recurrentes, mayor volumen de transacciones y eficiencia en la operación logística y técnica. El modelo de ingresos se sustenta en la comercialización de subproductos obtenidos del procesamiento de neumáticos fuera de uso, divididos en cuatro categorías clave: biochar, acero recuperado, productos derivados (aceites y gases) y gas sintético. Todos estos productos están destinados a aplicaciones industriales dentro del propio sector minero, lo que favorece una cadena de valor cerrada y alineada con principios de economía circular.

- Biochar, principal línea de ingreso, inicia con ventas de S/ 1,051,200 en el primer año, alcanzando S/ 1,371,578 en el décimo, con una tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) de aproximadamente 2.8%.
- Acero reciclado, con una proyección que va de S/ 630,720 a S/ 822,947, representa una fuente estable de ingresos dada la demanda permanente en actividades extractivas.

- Los productos derivados crecen de S/ 511,000 a S/ 666,739, aprovechando su valor energético y su utilidad como combustibles industriales alternativos.
- Finalmente, el gas sintético, aunque con volúmenes menores, complementa la matriz de ingresos con cifras crecientes desde S/ 30,660 hasta S/ 40,004.
- El ingreso total proyectado asciende a S/ 2,223,580 en el primer año y se incrementa de forma sostenida hasta llegar a S/ 2,901,268 en el año 10, reflejando una estructura de monetización sólida y bien diversificada.

Esta evolución confirma la viabilidad comercial del proyecto, respaldada por un portafolio de productos valorizados, un mercado objetivo altamente focalizado y una oferta diferenciada alineada con criterios ESG.

Financiamiento. La estrategia financiera incluye la búsqueda activa de inversores de impacto y fondos orientados a la sostenibilidad, con el objetivo de asegurar capital alineado con los valores ambientales y sociales del proyecto. Asimismo, se priorizará la postulación a subsidios y programas de financiamiento verde ofrecidos por organismos públicos y multilaterales, los cuales están diseñados para fomentar iniciativas que contribuyan a la economía circular y la mitigación del cambio climático (UNEP, 2023; BID, 2022).

Estrategias de Mitigación de Riesgos. Como parte de la estrategia de gestión de riesgos empresariales, se promoverá la diversificación de clientes a fin de evitar la dependencia de un solo sector económico, lo que contribuye a una mayor estabilidad frente a variaciones de mercado. Asimismo, se contratarán seguros especializados para cubrir tanto la maquinaria como las operaciones, protegiendo los activos frente a posibles contingencias. Finalmente, se implementará un plan de contingencia financiera que contemple la creación de reservas equivalentes al 15% de los ingresos anuales, en línea con las recomendaciones de resiliencia financiera para negocios sostenibles (OECD, 2023).

Plan de continuidad del negocio. Para garantizar la continuidad operativa ante situaciones imprevistas, implementaremos un plan de emergencia que contemple posibles fallas tecnológicas, incluyendo la identificación de proveedores alternos de equipos. Asimismo, se establecerá una red de proveedores secundarios con el fin de minimizar interrupciones en la cadena de suministro. También se gestionarán acuerdos con socios logísticos estratégicos para asegurar la prestación del servicio incluso en contextos de crisis, y se crearán inventarios de seguridad que permitan mantener la producción sin interrupciones. Estas medidas forman parte de las buenas prácticas recomendadas en la gestión de riesgos operativos y resiliencia de la cadena de suministro (World Economic Forum, 2023).

Gestión ambiental para minimizar el impacto. La propuesta contempla el uso de tecnologías limpias que permitan reducir las emisiones de CO₂ durante el proceso de valorización de neumáticos fuera de uso (NFU), priorizando la captura y reutilización de los gases generados en la pirólisis para mejorar la eficiencia energética. Además, se gestionarán adecuadamente los residuos mediante la separación y reciclaje de los componentes no aprovechables de los neumáticos, asegurando una disposición final responsable. Se buscará el cumplimiento riguroso de las regulaciones ambientales, incluyendo certificaciones como la ISO 14001 y las normas locales emitidas por el MINAM y OEFA. Asimismo, se implementará un sistema de monitoreo continuo de emisiones y la elaboración de reportes anuales como parte del compromiso con la transparencia ambiental y la mejora continua (OEFA, 2024; ISO, 2015).

Costos de ventas y gastos operativos. La estructura de costos de nuestro proyecto ha sido diseñada para mantener una operación enfocada, eficiente y escalable. El principal componente del costo de ventas es la planilla del personal operativo, conformado por 15 trabajadores permanentes a lo largo de los 10 años. El costo asociado a este equipo se incrementa anualmente en un 5% proyectado, en línea con las políticas salariales del sector y

expectativas de inflación. El gasto anual en planilla asciende de S/ 720,000 a S/ 1'116,956, manteniéndose como una proporción controlada respecto a los ingresos. En cuanto a los gastos administrativos, se incluyen costos críticos para la operación continua y sostenible: energía, mantenimiento, insumos, tratamiento de emisiones, seguridad industrial, gestión de residuos, alquiler de planta e inversión en investigación y desarrollo (I+D+i). Estos gastos ascienden progresivamente de S/ 350,000 en el primer año hasta S/ 456,671 en el décimo, reflejando una asignación prudente de recursos para asegurar la continuidad operativa y cumplimiento normativo. Por su parte, los gastos de venta se encuentran centrados en actividades de marketing, publicidad e investigación de mercado que permiten posicionar el proyecto en el ecosistema minero como una solución de alto valor ambiental e industrial. Con un crecimiento acorde al despliegue comercial, estos gastos evolucionan de S/ 70,000 a S/ 91,334, acompañando el posicionamiento de marca y la expansión de relaciones estratégicas (ver Tabla 34, 35, 36, 37, 38 y 39).

Tabla 34

Resumen Financiero

Año	Presupuesto (\$)	Ventas Proyectadas (\$)	Costos Operativos (\$)	Ganancia Neta (\$)	Flujo de caja (\$)	Financiamiento (\$)
2025	805,000	600,000	450,000	150,000	150,000	500,000
2026	300,000	1,200,000	700,000	500,000	400,000	200,000
2027	250,000	1,800,000	900,000	900,000	800,000	100,000
2028	200,000	2,400,000	1,100,000	1,300,000	1,200,000	50,000
2029	150,000	3,000,000	1,300,000	1,700,000	1,800,000	0

Tabla 36*Proyección de Ventas*

<i>Proyección de Transacciones e Ingresos Anuales. Año 1 al Año 10, en Soles</i>											
Tipo de ingreso	Tipo cliente	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Biochar	GM	1,051,200	1,082,736	1,115,218	1,148,675	1,183,135	1,218,629	1,255,188	1,292,843	1,331,629	1,371,578
Acero	GM	630,720	649,642	669,131	689,205	709,881	731,177	753,113	775,706	798,977	822,947
Aceite/Gas (productos derivados)	GM	511,000	526,330	542,120	558,383	575,135	592,389	610,161	628,466	647,320	666,739
Gas Sintético	GM	30,660	31,580	32,527	33,503	34,508	35,543	36,610	37,708	38,839	40,004
Total de ingresos (S/)		2,223,580	2,290,287	2,358,996	2,429,766	2,502,659	2,577,739	2,655,071	2,734,723	2,816,765	2,901,268

Tabla 37*Proyección de Costo de Ventas**Costos de Ventas Anuales: Año 1 al Año 10, en Soles*

Tipo de costo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Cantidad de personal	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Planilla	720,000	756,000	793,800	833,490	875,165	918,923	964,869	1,013,112	1,063,768	1,116,956
Total de costos (S/)	720,000	756,000	793,800	833,490	875,165	918,923	964,869	1,013,112	1,063,768	1,116,956

Tabla 38*Proyección de Gastos Administrativos**Detalle de Gastos Administrativos: Año 1 al Año 10, en Soles*

Tipo de gasto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Energía (electricidad y gas)	100,000	103,000	106,090	109,273	112,551	115,927	119,405	122,987	126,677	130,477
Mantenimiento de equipos	30,000	30,900	31,827	32,782	33,765	34,778	35,822	36,896	38,003	39,143
Insumos y materiales de operación	50,000	51,500	53,045	54,636	56,275	57,964	59,703	61,494	63,339	65,239
Costos de tratamiento de emisiones	20,000	20,600	21,218	21,855	22,510	23,185	23,881	24,597	25,335	26,095
Seguridad y salud ocupacional	10,000	10,300	10,609	10,927	11,255	11,593	11,941	12,299	12,668	13,048
Costos de gestión de residuos	20,000	20,600	21,218	21,855	22,510	23,185	23,881	24,597	25,335	26,095
Alquiler de planta	100,000	103,000	106,090	109,273	112,551	115,927	119,405	122,987	126,677	130,477
I+D+i	20,000	20,600	21,218	21,855	22,510	23,185	23,881	24,597	25,335	26,095
Total de gastos (S/)	350,000	360,500	371,315	382,454	393,928	405,746	417,918	430,456	443,370	456,671

Tabla 39*Proyección de Gastos de Ventas**Detalle de Gastos de Venta: Año 1 al Año 10, en Soles*

Tipo de gasto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Marketing y publicidad	50,000									
Investigación de mercado	20,000	51,500	53,045	54,636	56,275	57,964	59,703	61,494	63,339	65,239
Total de gastos (S/)	70,000	72,100	74,263	76,491	78,786	81,149	83,584	86,091	88,674	91,334

A continuación, se presenta el Estado de Resultados Proyectado para el horizonte 2025-2034, evidenciando una estructura financiera saludable, con márgenes crecientes y progresiva eficiencia operativa. Durante el primer año, el proyecto alcanza ingresos por S/ 2,223,580, con una utilidad operativa de S/ 1'007,080 y una utilidad neta de S/ 347,536, lo que representa un margen neto del 16%. Este resultado positivo inicial es consistente con un modelo de negocio bien estructurado y con costos controlados desde el inicio de operaciones.

A partir del año 4, una vez cubiertos los gastos financieros derivados de la deuda inicial, se observa un salto significativo en la rentabilidad: la utilidad antes de impuestos supera el millón de soles y los márgenes netos se estabilizan en niveles del 28% al 31% en los años posteriores. Esto refleja no solo la madurez operativa del proyecto, sino también su capacidad de generar flujo de caja libre y valor económico sostenido para los inversionistas. El comportamiento proyectado de los ingresos que pasan de S/ 2.2 millones a S/ 2.9 millones y de la utilidad neta que crece desde S/ 347 mil a S/ 817 mil, evidencia un negocio escalable, con productos de alta demanda y clientes de perfil institucional (gran minería). La gestión eficiente de los gastos operativos, acompañada de una política de depreciación y amortización estable (S/ 76,500 anuales), permite mantener una base de costos predecible.

En resumen, los resultados proyectados muestran una empresa que alcanza su punto de equilibrio desde el inicio, con utilidades crecientes, apalancamiento financiero controlado y márgenes competitivos. Este escenario proyectado constituye un respaldo cuantitativo sólido para decisiones de financiamiento, captación de capital o alianzas estratégicas. Nuestro proyecto se ha estructurado sobre una proyección a 10 años, utilizando como base el flujo de caja libre (FCL) derivado de la utilidad neta y el componente no monetario de la depreciación. Esta metodología nos ha permitido capturar con mayor precisión la capacidad real del proyecto para generar valor económico (ver tabla 40). En la tabla 41 se observa que, durante el primer año, el flujo de caja libre asciende a S/ 424,036, el cual se incrementa

Tabla 40*Proyección de Estados de Resultados*

<i>Estado de Resultados Proyectados: Año 1 al Año 10, en Soles</i>										
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos	2,223,580	2,290,287	2,358,996	2,429,766	2,502,659	2,577,739	2,655,071	2,734,723	2,816,765	2,901,268
Costo de ventas	-720,000	-756,000	-793,800	-833,490	-875,165	-918,923	-964,869	-1,013,112	-1,063,768	-1,116,956
Utilidad bruta	1,503,580	1,534,287	1,565,196	1,596,276	1,627,494	1,658,816	1,690,202	1,721,611	1,752,997	1,784,311
Gastos administrativos	-350,000	-360,500	-371,315	-382,454	-393,928	-405,746	-417,918	-430,456	-443,370	-456,671
Gastos de venta	-70,000	-72,100	-74,263	-76,491	-78,786	-81,149	-83,584	-86,091	-88,674	-91,334
Depreciación y amortización	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500	-76,500
Utilidad operativa	1,007,080	1,025,187	1,043,118	1,060,831	1,078,281	1,095,421	1,112,200	1,128,564	1,144,453	1,159,807
Gastos financieros	-514,121	-444,151	-374,182							
Utilidad antes de I.R.	492,959	581,036	668,936	1,060,831	1,078,281	1,095,421	1,112,200	1,128,564	1,144,453	1,159,807
Impuesto a la renta (29.5%)	-145,423	-171,406	-197,336	-312,945	-318,093	-323,149	-328,099	-332,926	-337,614	-342,143
Participación a los trabajadores										
Utilidad neta	347,536	409,630	471,600	747,886	760,188	772,272	784,101	795,637	806,840	817,664
Utilidad neta (%)	16%	18%	20%	31%	30%	30%	30%	29%	29%	28%

progresivamente hasta alcanzar S/ 894,164 en el décimo año. Este crecimiento responde a una mejora en la rentabilidad operativa del negocio, una estructura de costos estable y la ausencia de gastos financieros a partir del año cuatro.

La inversión inicial está compuesta por la adquisición de activos fijos por S/ 850,000 y gastos preoperativos por S/ 31,600, totalizando un desembolso de S/ 881,600 al año 0. A partir de este punto, todos los flujos futuros se proyectan netos de inversión, permitiendo el cálculo de indicadores de evaluación de proyectos. Con una tasa de descuento (WACC) del 8.69%, el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto se estima en S/ 3,438,773, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza un sólido 62%, lo cual excede ampliamente los umbrales típicos de rentabilidad para emprendimientos industriales. Este nivel de rentabilidad evidencia una combinación favorable entre riesgo asumido y retorno esperado, reforzado por una estrategia comercial enfocada y un mercado objetivo de alta capacidad adquisitiva como es la gran minería.

Cabe destacar que la estimación del WACC fue elaborada tomando en cuenta una estructura de financiamiento compuesta por un 40% de deuda y un 60% de capital propio, con un costo del capital (K_e) del 13.83% calculado bajo el modelo CAPM. Este cálculo considera una tasa libre de riesgo de 3.95%, una prima de riesgo de mercado de 8.7%, una prima por riesgo país de 2.76% y una beta apalancada de 1.58, en línea con el sector de servicios ambientales y gestión de residuos. El costo de la deuda (K_d) se fijó en 14.83%, correspondiente a la Tasa Efectiva Anual (TEA) de financiamiento bancario disponible.

Este enfoque de valoración confirma la sostenibilidad financiera del proyecto, su resiliencia ante variaciones moderadas en la tasa de descuento y su capacidad para generar rendimientos atractivos para inversionistas institucionales o ángeles de impacto. Los detalles completos de la inversión inicial, los costos operativos, los ingresos proyectados y los cálculos financieros se presentan en el Apéndice G. En consecuencia, el proyecto se muestra como una

oportunidad sólida para canalizar capital hacia una solución ambientalmente responsable y económicamente rentable.

6.3.3 Simulaciones Empleadas para Validar la Viabilidad Financiera

Con el propósito de validar la robustez del modelo de negocio, se diseñaron y ejecutaron cinco escenarios distintos mediante simulación de Monte Carlo. Estos escenarios consideraron variaciones en variables clave, como la tasa de crecimiento, para evaluar el impacto en los indicadores financieros principales: el Valor Actual Neto (VAN) y el riesgo de pérdida (ver Tabla 42).

Tabla 42

Escenarios Simulados para Viabilidad Financiera

Escenario	Crecimiento Anual (%)	VAN Promedio (S/)	Riesgo de Pérdida (%)
Pesimista Extremo	0.00	1,711,017.97	0.00
Pesimista	0.05	1,796,225.75	0.00
Base / Moderado	0.10	1,976,225.75	0.00
Optimista	0.15	2,275,659.61	0.00
Optimista Extremo	0.20	2,727,191.54	0.00

Esta etapa resulta fundamental para sustentar la factibilidad del emprendimiento y minimizar la incertidumbre antes de su implementación, en línea con lo señalado por Pretell y Benzaquen (2020), quienes resaltan la importancia de cuantificar retornos, plazos de recuperación y sensibilidad ante variaciones del mercado en todo plan de negocio estructurado. La simulación Monte Carlo se aplicó para evaluar la viabilidad económica del proyecto bajo un enfoque probabilístico, considerando la incertidumbre en variables clave y proporcionando un rango de posibles resultados. Los valores obtenidos a partir del análisis, así como la distribución del VAN y su comportamiento ante distintos escenarios, se detallan en el Apéndice I. Los hallazgos principales se presentan directamente en el texto, utilizando

los datos obtenidos tras 5,000 iteraciones. El resultado promedio para el Escenario Base arrojó un VAN esperado de S/ 2,096,732.75. Este valor confirma una sólida expectativa de generación de valor para el proyecto bajo condiciones moderadas de mercado y crecimiento.

La distribución de los resultados del VAN sigue una curva normal, lo cual es típico de este tipo de simulaciones, indicando que el rendimiento más probable se encuentra en el centro de la curva. El hecho de que el VAN mínimo siga siendo un valor positivo considerable y que el riesgo de pérdida sea nulo es un indicador clave de la resiliencia financiera del proyecto. La comparación entre los cinco escenarios presentados demuestra la robustez del modelo. Incluso en el escenario Pesimista Extremo (0% de crecimiento), el VAN permanece altamente positivo, lo que refuerza la hipótesis de viabilidad del modelo de negocio bajo un amplio rango de condiciones de mercado. El análisis de sensibilidad a la tasa de crecimiento demuestra que el proyecto mantiene su rentabilidad incluso ante condiciones de crecimiento nulo o mínimo, asegurando un margen de seguridad para la inversión (ver Tabla 42).

Tabla 43

Resultados de la Simulación de Viabilidad Financiera

Valor Actual Neto (VAN) Promedio Simulado	El resultado promedio de las iteraciones de la simulación arrojó un VAN esperado de S/ 2,065,513.69. Este valor confirma una sólida expectativa de generación de valor para el proyecto.
Variabilidad y Desviación Estándar	La dispersión de los resultados, ilustrada en el histograma de frecuencias, se midió con una desviación estándar simulada de S/ 408,467.44. El rango del VAN simulado fluctuó significativamente entre un mínimo de S/ 713,680.91 y un máximo de S/ 3,303,851.34, lo que refleja la sensibilidad del proyecto a los factores de riesgo inherentes.
Riesgo de Pérdida	Un indicador crítico de la simulación es la probabilidad de que el VAN sea menor a S/ 20,000 (considerado el umbral mínimo de viabilidad). La simulación determinó que el riesgo de pérdida es del 0.00%, lo que indica una confianza total en que el proyecto generará un valor neto positivo bajo los escenarios modelados.

Capítulo VII. Solución Sostenible

En este capítulo se presenta una solución sostenible basada en el modelo Flourishing Business Canvas (FBC), que permite evaluar integralmente los impactos sociales, ambientales y económicos del proyecto. La propuesta se enmarca en la economía circular y busca transformar un pasivo ambiental en un insumo de valor para el sector agrícola.

7.1 Relevancia Social de la Solución

La solución propuesta contribuye directamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), destacando por su capacidad para generar valor ambiental y social. Alineada con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), promueve el desarrollo de tecnologías limpias para la transformación de residuos. También se vincula con el ODS 12 (Producción y consumo responsables), al fomentar la economía circular y evitar la disposición inadecuada de NFU. Asimismo, contribuye al ODS 13 (Acción por el clima) mediante la reducción de emisiones de carbono y el uso de biochar para la captura de CO₂ en suelos agrícolas. Finalmente, impacta el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) al regenerar suelos degradados y reducir la contaminación por quema o abandono de neumáticos.

Cálculo del TSRI (Technology Social Relevance Index). Para evaluar la relevancia social de esta tecnología, se aplicó el Índice de Relevancia Social de la Tecnología (TSRI), expresado como el porcentaje de metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) abordadas por la solución sobre el total de metas correspondientes, multiplicado por 100.

Este enfoque cuantitativo permite reflejar la contribución real del proyecto al desarrollo sostenible.

$$TSRI = \left(\frac{\text{Número de metas ODS abordadas por la solución}}{\text{Número total de metas de los ODS considerados}} \right) \times 100\%$$

En este caso, la solución sostenible contribuye a tres ODS prioritarios:

- ODS 12: Producción y consumo responsables (11 metas)

→ Aborda las metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.6 y 12.8, relacionadas con el uso eficiente de recursos, la gestión ambientalmente racional de residuos y la sensibilización para estilos de vida sostenibles.

- ODS 13: Acción por el clima (5 metas)

→ Incide en las metas 13.2 y 13.3, mediante la integración de medidas de mitigación (biochar como sumidero de carbono) y programas de educación ambiental.

- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres (12 metas)

→ Impacta en las metas 15.1 y 15.3, promoviendo la restauración de suelos degradados y la reducción de la contaminación por quema o abandono de NFU.

En total, se abordan 9 metas de un conjunto de 28 metas correspondientes a los tres ODS evaluados.

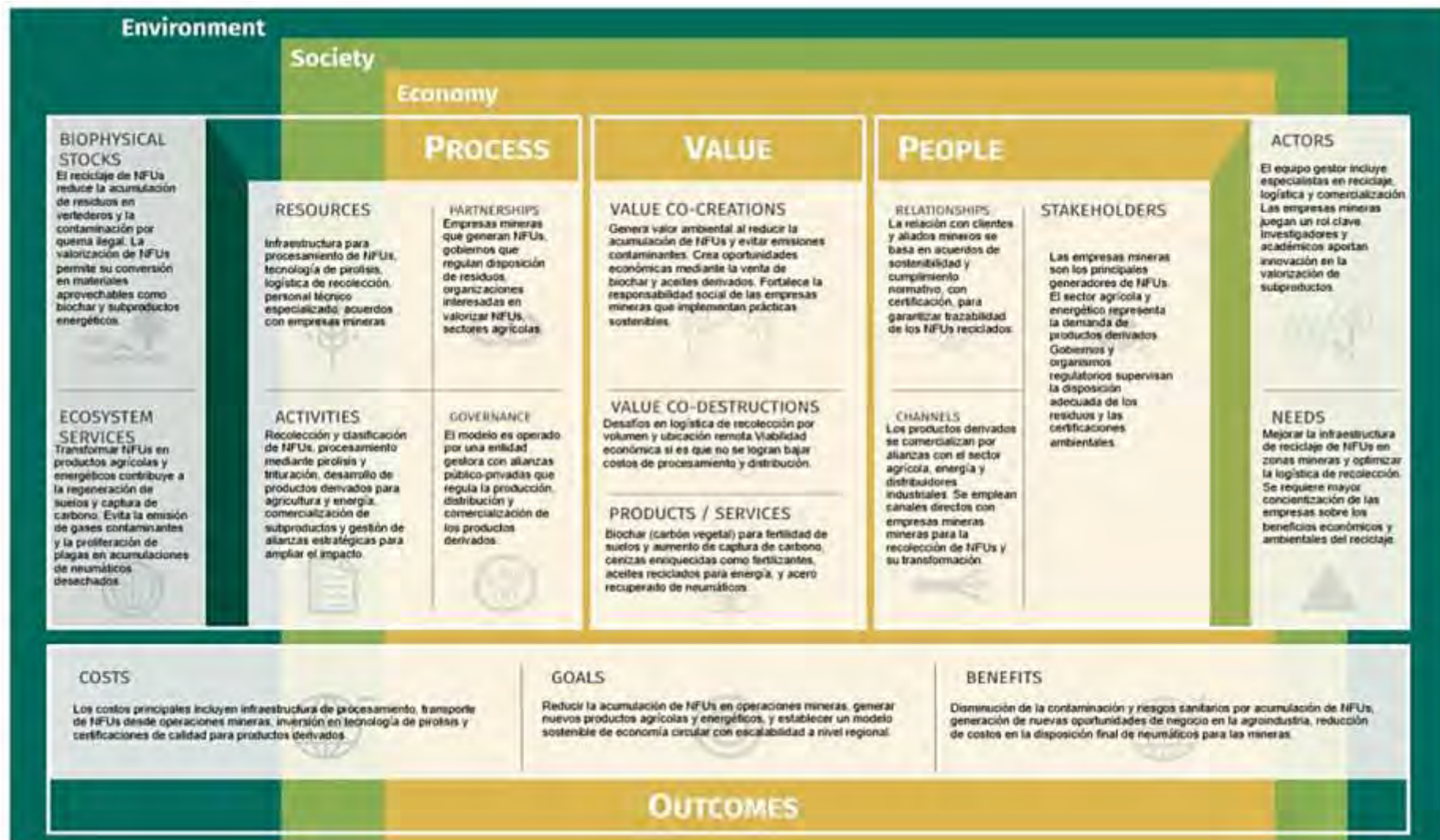
$$TSRI = \left(\frac{9}{28} \right) \times 100\% = 32.14\%$$

Por tanto, el TSRI del proyecto es de 32 %, lo que demuestra una alta relevancia social y ambiental, validando la tecnología propuesta como un aporte concreto al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 12, 13 y 15).

Modelo de negocio basado en el Flourishing Business Canvas (FBC). El modelo de negocio de la solución ha sido estructurado bajo el enfoque del Flourishing Business Canvas (FBC), el cual permite visualizar de forma holística los impactos y relaciones de una organización con su ecosistema. A diferencia de los modelos tradicionales, el FBC incorpora dimensiones clave como la regeneración ambiental, el bienestar social, la existencia de servicios ecosistémicos, las relaciones éticas con los actores involucrados y la creación de valor más allá de lo económico (ver Figura 33).

Figura 33

Flourishing Business Canvas que Integra los Elementos Económicos, Sociales y Ambientales del Modelo Propuesto



Análisis Crítico del FBC Aplicado al Proyecto. El Flourishing Business Canvas (FBC) permite identificar de forma estructurada los impactos positivos de nuestra propuesta en las dimensiones económica, ambiental y social. En la sección de Existencias biofísicas, se resalta la reducción de residuos peligrosos, mientras que en Servicios ecosistémicos se destaca la regeneración del suelo y la captura de carbono mediante biochar. Estos elementos refuerzan la conexión del modelo con una lógica de regeneración más allá de la sostenibilidad. El modelo también evidencia relaciones de valor con actores clave como empresas mineras, cooperativas agrícolas y gobiernos locales, estableciendo sinergias de largo plazo que fortalecen la resiliencia del sistema. La lógica de gobernanza muestra que no se trata solo de una solución técnica, sino de una propuesta institucionalizable, con impactos escalables y medibles. Los servicios ecosistémicos mejorados incluyen la reducción de lixiviados en suelos, menor riesgo de incendios por quema de neumáticos, y mayor capacidad de retención de agua en suelos tratados con biochar. Finalmente, al integrar objetivos claros con costos identificables y beneficios distribuidos, el FBC cumple su objetivo de ilustrar la viabilidad del proyecto.

7.2 Rentabilidad Social de la Solución

La rentabilidad social de la solución fue estimada considerando tanto los beneficios directos como los impactos indirectos generados por el proyecto. Entre los beneficios sociales se incluyen: la reducción de riesgos sanitarios por eliminación adecuada de NFU, la generación de empleo formal en zonas urbanas y rurales, el acceso de pequeños agricultores a insumos agronómicos mejoradores del suelo a menor costo, y la disminución de la contaminación del aire, agua y suelo. En términos cuantitativos, se estima que cada tonelada de NFU reciclada evita la emisión de 1.5 toneladas métricas de CO₂, y permite la producción de hasta 1.6 toneladas de biochar utilizable. Por cada 10,000 toneladas procesadas, se podrían beneficiar directamente unas 2,500 hectáreas agrícolas, además de capacitar a más de 200

agricultores. Al contrastar estos beneficios con los costos sociales principalmente asociados a inversión en tecnología, logística y formación se llega a concluir que el retorno social supera ampliamente la inversión inicial, validando la solución como ambientalmente regenerativa, económicamente viable y socialmente justa.

Cálculo del VANS (VAN Social). Se consideró:

Cálculo del Beneficio Social. Se proyectó en el modelo actual 500 toneladas por año, con una reducción de 10 Kg de CO₂ por tonelada. Se estimó 50 m³ de reducción de espacio por cada 100 toneladas recicladas. Se calculó 100 hectáreas tratadas por año, con un aumento de 10% en productividad. Se estimó 25 empleos directos por cada 500 toneladas recicladas al año. Se estimó un impacto de 10,000 soles anuales en educación (ver Tabla 44).

Tabla 44

Beneficios Sociales Estimados Derivados de la Implementación del Modelo Prolab

Beneficio Social	Valor Actual (Soles)
Reducción de Huella de Carbono	370
Descongestión de Vertederos	37,500
Mejora de Suelos Agrícolas	50,000
Generación de Empleo Local	300,000
Sensibilización y Educación Ambiental	10,000
Total	397,870

Cálculo del Costo Social. El costo de certificaciones internacionales como ISO 14001 oscila entre 15,000 y 25,000 soles anuales. Estimación basada en costos de impresión, materiales educativos y charlas comunitarias. Basado en un programa de entretenimiento básico para 25 trabajadores, con un costo de 400 soles por persona. La gestión de residuos

industriales con costo aproximado de 100 soles por tonelada y 150 toneladas al año (ver tabla 45). El resultado del VAN Social positivo evidencia que la solución propuesta genera un retorno social ampliamente superior a la inversión (ver tabla 46). Esto valida su conveniencia desde una perspectiva de desarrollo sostenible, con beneficios tangibles para el ambiente, las comunidades agrícolas y las empresas involucradas.

Tabla 45

Costos Sociales Asociados a Certificaciones, Capacitación y Gestión Ambiental

Costo Social	Valor Actual (Soles)
Certificación Ambiental	20,000
Campañas de Educación	5,000
Capacitación de Personal	10,000
Gestión de Residuos	15,000
Total	50,000

Tabla 46

Cálculo del Valor Actual Neto Social Considerando Beneficios, Costos y Descuento

Año	BS (S/)	CS (S/)	VANS (flujo)	Factor de descuento (8%)	VANS descontado (S/)
1	397,870.00	50,000.00	347,870.00	1.080	322,101.85
2	437,657.00	55,000.00	382,657.00	1.166	328,179.25
3	481,423.00	60,500.00	420,923.00	1.260	334,065.87
4	529,565.00	66,550.00	463,015.00	1.360	340,452.21
5	582,522.00	73,205.00	509,317.00	1.469	346,710.01

Indicador	Valor
VANS total (S/)	1,671,509.18 soles
VANS total (USD)	426,405.40 dólares
Incremento sobre VAN-Prom de Negocio	27% adicional (respecto a US\$ 1,573,882.58)

Capítulo VIII. Plan de Implementación y Cierre del Proyecto

En el presente capítulo se describe el plan de implementación del modelo Prolab, orientado a convertir los neumáticos fuera de uso (NFU) del sector minero en biochar con aplicación agrícola. Se busca asegurar que la propuesta transite de la validación conceptual a la ejecución práctica mediante etapas estructuradas, responsables definidos e indicadores de seguimiento. Asimismo, se presentan las conclusiones generales de la investigación y las recomendaciones derivadas de los principales hallazgos técnicos, sociales y de negocio.

8.1 Plan de Implementación y Equipo de Trabajo

La implementación del modelo se plantea de manera progresiva, articulando las fases técnica, operativa y comercial (ver tabla 47 y Figura 34). El objetivo es garantizar una puesta en marcha controlada, que permita evaluar el desempeño de la planta de pirólisis, el cumplimiento de los estándares ambientales y la sostenibilidad del modelo de negocio en el tiempo. Además, la ejecución del proyecto requiere un equipo de trabajo especializado que asegure la correcta operación técnica, la gestión comunitaria y el seguimiento financiero del modelo. Cada rol ha sido definido en función de las competencias necesarias para garantizar una implementación eficiente y sostenible (ver Tabla 48).

Tabla 47

Equipo de Trabajo y Responsabilidades

Rol / Área	Función principal	Perfil recomendado
Dirección del proyecto	Coordinar la ejecución global del plan, definir prioridades y asegurar el cumplimiento de objetivos.	Ingeniero ambiental o gestor de proyectos con experiencia en economía circular.
Equipo técnico de pirólisis	Operar la planta, controlar las variables de proceso y realizar los ensayos de calidad del biochar.	Ingenieros químicos, mecánicos o técnicos especializados.
Área de sostenibilidad y relaciones comunitarias	Monitorear impactos sociales y ambientales; coordinar la relación con comunidades agrícolas y autoridades.	Especialistas en sostenibilidad o responsabilidad social.
Área comercial y alianzas	Promover convenios con mineras y asociaciones agrícolas; gestionar ventas y distribución del biochar.	Administradores o economistas con enfoque en sostenibilidad.
Gestión financiera y administrativa	Control presupuestal, análisis de costos, flujos de inversión y reporte de resultados.	Contador o financiero con experiencia en proyectos ambientales.

Tabla 48*Cronograma General del Proyecto con las Fases, Actividades e Hitos Principales*

Etapa	Duración estimada	Hitos principales
Fase piloto	0-6 meses	Instalación de planta piloto, validación técnica y primeros lotes de biochar.
Expansión regional	6-18 meses	Firma de convenios con mineras, certificación del biochar y evaluación económica.
Consolidación y escalamiento	18-36 meses	Creación de centros de valorización regional e integración con agricultura local.

Fase de Implementación. Se considera:

Fase Piloto:

- Objetivo: instalar y operar un módulo de pirólisis a escala reducida (10 t/día) en una zona minera con disponibilidad de NFU.
- Actividades clave: adquisición de equipos, licencias ambientales, contratación del equipo técnico y validación de los parámetros operativos.
- Indicadores: volumen de NFU procesado, porcentaje de biochar obtenido, cumplimiento de normas de emisión.

Fase de expansión:

- Objetivo: escalar la producción mediante la instalación de módulos adicionales e incorporar acuerdos formales con empresas mineras.
- Actividades clave: formalización de convenios, optimización logística, certificación del biochar y evaluación económica del proceso.
- Indicadores: incremento de capacidad operativa, contratos firmados, rentabilidad operacional y reducción de NFU en disposición final.

Fase de consolidación:

- Objetivo: integrar el modelo Prolab como parte de la cadena circular entre minería y agricultura.

- Actividades clave: creación de centros regionales de valorización, alianzas con cooperativas agrícolas, seguimiento del impacto social y ambiental.
- Indicadores: hectáreas recuperadas con biochar, empleos generados, reducción de emisiones y satisfacción de los usuarios finales.

8.2 Conclusiones

El modelo Prolab se plantea como una respuesta integral y sostenible al Problema Social Relevante (PSR) identificado en la investigación: la gestión inadecuada de los neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú y su consecuente impacto ambiental y social. Este problema, caracterizado por la acumulación de residuos, contaminación del suelo y del aire, y la falta de infraestructura para su tratamiento, requiere una solución que vaya más allá de las acciones de mitigación y promueva un cambio estructural hacia la economía circular.

Problemas Ambientales y Sociales. El análisis del PSR evidenció que la disposición inadecuada de los NFU genera daños ambientales significativos, además de riesgos sanitarios por la proliferación de vectores y la emisión de contaminantes al aire. La carencia de sistemas de recolección y valorización eficientes agrava esta situación, afectando tanto al entorno natural como a las comunidades cercanas a los centros mineros y urbanos. Este diagnóstico fue el punto de partida para el desarrollo del modelo Prolab.

Marco Normativo y Desafíos. Si bien el país cuenta con marcos legales como la Ley General del Ambiente y normas específicas sobre gestión de residuos, la implementación sigue siendo débil. La limitada fiscalización y la falta de incentivos económicos restringen los avances en reciclaje y revalorización. Frente a ello, el modelo Prolab propone una vía práctica para operativizar las políticas ambientales existentes, demostrando cómo la colaboración entre empresa privada, Estado y comunidad puede convertir la normativa en acción efectiva.

Oportunidades de Innovación. El estudio identificó oportunidades de innovación

que permiten transformar un residuo problemático en un recurso de valor. A través del proceso de pirólisis, el modelo Prolab convierte los NFU en biochar y fertilizantes enriquecidos, productos que mejoran la estructura del suelo y favorecen la productividad agrícola. Este enfoque no solo reduce los impactos del PSR, sino que genera beneficios económicos y ambientales sostenibles, consolidando una sinergia entre minería y agricultura.

Metodología de Design Thinking. La aplicación de la metodología Design Thinking permitió comprender las causas profundas del PSR desde la perspectiva de los diferentes actores involucrados. Este enfoque centrado en el usuario facilitó el diseño de una solución empática y factible, alineando la innovación tecnológica con las necesidades sociales reales. Gracias a este proceso, el modelo integra sostenibilidad, participación comunitaria y viabilidad técnica en una sola propuesta coherente.

Intervenciones Educativas y de Conciencia. El PSR también evidenció una baja conciencia ambiental y escasa educación en manejo responsable de residuos. Por ello, el modelo Prolab incluye componentes formativos y de sensibilización, orientados a fortalecer las capacidades de empresas, autoridades y comunidades. Talleres, programas educativos y campañas de comunicación serán esenciales para consolidar una cultura de sostenibilidad y corresponsabilidad.

Modelo de Negocio Sostenible. Finalmente, el modelo Prolab incorpora un enfoque empresarial responsable, que mide no solo la rentabilidad, sino también el impacto social y ambiental. Este diseño equilibra eficiencia económica con compromiso comunitario, asegurando la continuidad del proyecto en el tiempo. Al integrarse en la cadena productiva, el modelo permite que las empresas reduzcan su huella ecológica mientras generan valor compartido.

En conjunto, el modelo Prolab responde directamente al Problema Social Relevante identificado en la investigación, aportando una alternativa práctica, escalable y sostenible.

Aunque su viabilidad empírica aún debe validarse mediante una fase piloto, los análisis desarrollados confirman su consistencia técnica y potencial de impacto positivo en el ámbito ambiental, social y económico.

En conclusión, el modelo Prolab demuestra que es posible convertir un problema social y ambiental como la gestión de los NFU en una oportunidad de desarrollo sostenible, donde la innovación tecnológica, la educación y la colaboración multisectorial se articulan para construir soluciones reales al servicio de la sociedad y del medio ambiente.

8.3 Recomendaciones

Las recomendaciones que se presentan a continuación se construyen a partir de los principales hallazgos del estudio y del análisis del modelo de negocio Prolab, el cual propone una alternativa sostenible para la valorización de los neumáticos fuera de uso (NFU) mediante el proceso de pirólisis. Estas recomendaciones buscan orientar los pasos siguientes para consolidar el modelo, fortaleciendo los aspectos técnicos, normativos, sociales y económicos que permitirán su implementación real y sostenida en el tiempo.

En primer lugar, es fundamental reforzar el marco institucional y normativo que regula la gestión de los NFU. Los resultados de la investigación muestran que las leyes y disposiciones existentes no se aplican con la eficacia necesaria, lo que genera vacíos en la gestión ambiental. Por ello, se sugiere que las autoridades competentes promuevan políticas más específicas que incluyan incentivos tributarios, mecanismos de fiscalización eficientes y certificaciones que reconozcan las prácticas sostenibles. Esto no sólo daría mayor respaldo legal al modelo, sino que también reduciría la incertidumbre para las empresas interesadas en invertir en soluciones circulares como Prolab.

En segundo lugar, se recomienda implementar una planta piloto que permita validar en condiciones reales la viabilidad técnica, económica y social del modelo. Si bien los análisis teóricos han demostrado que el proyecto es factible, aún falta comprobar su

desempeño operativo. Un piloto modular, desarrollado en colaboración con una empresa minera y una comunidad agrícola, permitiría medir rendimientos, costos y aceptación del biochar como producto comercial. Esta experiencia práctica sería clave para ajustar los procesos y fortalecer la credibilidad del modelo frente a inversionistas y entidades públicas.

Asimismo, se propone fortalecer las alianzas entre el sector privado, el Estado y la sociedad civil. Uno de los aprendizajes más claros del estudio es que la gestión sostenible de los NFU requiere coordinación entre todos los actores. Las empresas pueden aportar tecnología y recursos, mientras que el sector público debe garantizar la regulación y la articulación territorial, y las comunidades aportar el conocimiento local. Estas alianzas público-privadas generarían una red de colaboración estable, capaz de mantener la cadena de valor del modelo a largo plazo.

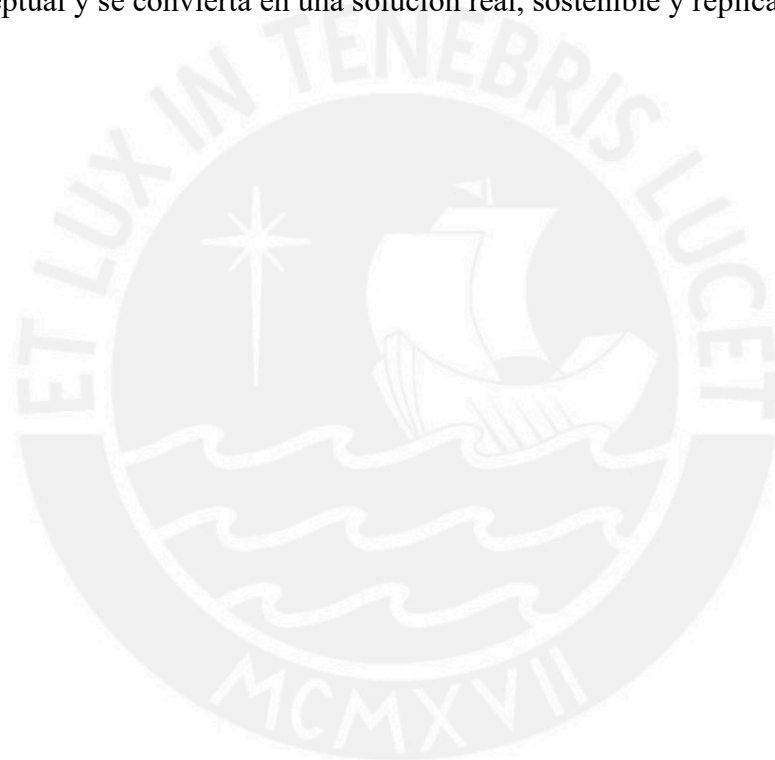
Otro aspecto clave es la educación ambiental y la capacitación técnica. El diagnóstico inicial evidenció una baja conciencia sobre el valor de los residuos y escaso conocimiento técnico para gestionarlos adecuadamente. Se recomienda implementar talleres, programas de formación y campañas educativas dirigidas a trabajadores, comunidades y autoridades locales. Esto permitirá crear una cultura ambiental más sólida, además de mejorar la empleabilidad y la apropiación social del modelo Prolab en las zonas donde opere.

También se considera necesario fortalecer el modelo financiero y de sostenibilidad empresarial. La investigación demostró que el éxito del proyecto no depende únicamente de su eficiencia técnica, sino de su capacidad para mantenerse rentable sin perder su enfoque social y ambiental. En ese sentido, se sugiere elaborar un plan financiero diversificado, que combine la venta de biochar con otras fuentes de ingreso, como créditos de carbono o subproductos derivados del proceso. Esto aseguraría la autosuficiencia económica del proyecto y permitiría su expansión a nuevas regiones.

Finalmente, se recomienda impulsar la investigación aplicada y la mejora tecnológica

continua. La consolidación del modelo depende de la evidencia científica que respalde la calidad y los beneficios del biochar producido. Por ello, se sugiere promover convenios con universidades y centros de investigación para estudiar su desempeño agronómico, su estabilidad química y su efecto a largo plazo en los suelos. Este trabajo colaborativo contribuiría a perfeccionar la tecnología y facilitar su certificación, generando confianza en el mercado y abriendo nuevas oportunidades comerciales.

En conjunto, estas recomendaciones buscan que el modelo Prolab deje de ser una propuesta conceptual y se convierta en una solución real, sostenible y replicable.



Referencias

- Accenture. (2022). *Technology Vision 2022: Meet Me in the Metaverse*. Accenture.
<https://www.accenture.com/us-en/insights-index>
- Administrados Sancionados. (s. f.). *Infracciones por subsector*.
<https://publico.oefa.gob.pe/administrados-sancionados/#/>
- Afshar, M., & Mofatteh, S. (2024). Biochar for a sustainable future: Environmentally friendly production and diverse applications. *Results in Engineering*, 23, 102433.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102433>
- Agencia Andina. (2024). *Perú registró 99,789 toneladas de neumáticos ingresados al mercado en 2021, según el MINAM*. <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-avanza-hacia-un-modelo-gestion-residuos-neumaticos-mas-sostenible-981686.aspx>
- Anglo American Perú. (2024). *Operación Quellaveco: información general, producción y sostenibilidad*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/quellaveco/el-proyecto/quellaveco-apunta-a-consolidarse-en-2024#:~:text=Seg%C3%BAAn%20detall%C3%B3%2C%20Quellaveco%20contribuy%C3%B3%20a,los%20que%20trabaja%20Anglo%20American.>
- Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje. ANIR (2023). *Gestión y valorización de neumáticos fuera de uso mediante pirólisis en Chile*. <https://www.tnu.es/tnu-recoge-94-860-toneladas-de-neumaticos-fuera-de-uso-en-2022/>
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). *Informe sobre calidad de recursos hídricos y afectaciones por residuos sólidos en regiones mineras del Perú*. ANA.
- Banco Interamericano de Desarrollo. BID. (2022). *Financiamiento verde y sostenibilidad en América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/es/banco-interamericano-de-desarrollo-informe-de-sostenibilidad-2022>

- Bizzabo. (2023). *The 2023 Event Marketing Report: Trends, insights, and benchmarks for B2B companies*. Bizzabo Ltd. <https://www.bizzabo.com/reports/event-marketing-report>
- Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation*. HarperBusiness. <https://www.harpercollins.com/products/change-by-design-tim-brown>
- Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1518797177onurimispcartilla.pdf
- Comercial S.A. (2025). <https://jchllantas.com.pe/implementacion-del-plan-de-manejo-de-nfu/#:~:text=>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): avances, indicadores y estrategias para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/81441-la-agenda-2030-desarrollo-sostenible-la-agenda-regional-genero-america-latina#:~:text=La%20Agenda%202030%20para%20el,de%20g%C3%A9nero%20a%202024%20%7C%20CEPAL>
- Content Marketing Institute. (2023). *B2B Content Marketing: Benchmarks, Budgets, and Trends—Insights for 2023*. [https://www.marketingprofs.com/charts/2022/48117/2023-b2b-content-marketing-report-benchmarks-budgets-and-](https://www.marketingprofs.com/charts/2022/48117/2023-b2b-content-marketing-report-benchmarks-budgets-and)
- Deloitte. (2023). *2023 Global Marketing Trends: Resilient Relationships*. Deloitte Insights. <https://www.deloitte.com/cz-sk/en/services/consulting/research/global-marketing-trends.html>
- Diario Viral. (2025). *Arequipa contará con primera planta de pirólisis para el tratamiento de llantas y residuos sólidos*. <https://diarioviral.pe>
- Dufey, A., Bravo, G., Jarquin, J., & Rojas, F. (2023). *Guía de buenas prácticas agroecológicas para fortalecer capacidades en productores agrícolas: Estrategias de*

formación, acompañamiento y adopción tecnológica sostenible. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP).

https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-08/practicas_agroecologicas_resilientes-22fichas-v10.pdf

Ecologistas en Acción. (2023). *Los neumáticos fuera de uso y su impacto ambiental*. www.ecologistasenaccion.org

Ellen MacArthur Foundation. (2020). *The circular economy: What, why, how*.

<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Environmental Protection Agency. (2019). *Air emissions from scrap tire combustion*. U.S.

Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/scrap_tire_fact_sheet_dec_2020_v2.pdf?utm_source=chatgpt.com

Ernst & Young (EY). (2023). *Sustainability and ESG incentives in Latin America:*

Opportunities for green investment and public subsidies. EY Global.

https://www.ey.com/en_gl/sustainability

European Patent Office. (2021). *Pyrolysis plant with modular energy-efficient heat recirculation system* (EP3779482A1). EPO.

<https://patents.google.com/patent/EP3779482A1/en>

Fagerberg, J. (2022). *Innovation, economic development and technological change: An evolutionary perspective*. Oxford University Press. [https://www.e-](https://www.e-elgar.com/shop/usd/innovation-economic-development-and-policy-9781788110259.html#:~:text=Name-)

[elgar.com/shop/usd/innovation-economic-development-and-policy-](https://www.e-elgar.com/shop/usd/innovation-economic-development-and-policy-9781788110259.html#:~:text=Name-)

[9781788110259.html#:~:text=Name-](https://www.e-elgar.com/shop/usd/innovation-economic-development-and-policy-9781788110259.html#:~:text=Name-)

,This%20authoritative%20and%20enlightening%20book%20focuses%20on%20fundamental%20questions%20such,'

Forbes Communications Council. (2023). *How B2B companies can build trust and accelerate decision-making in multi-stakeholder environments*. *Forbes*.

<https://www.forbes.com/councils/forbescommunicationscouncil/>

Gallegos Fornazzari, A. (2022). Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de una planta modular de pirólisis de neumáticos en República Dominicana. *Revista de Ingeniería y Ciencia Ambiental*, 9(2), 87-104.

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/202400/Tesis%20-%20Sebasti%C3%A1n%20Gallegos%20Fornazzari%20-%20Parte%20II.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

García, M., & Torres, L. (2021). *Impacto ambiental de los neumáticos fuera de uso y estrategias de mitigación*. *Revista de Medio Ambiente y Sostenibilidad*, 8(2), 45-60.

Gao, J., Li, Y., Wang, X., Zhang, Q., & Chen, H. (2024). Biochar for soil improvement and pollution remediation: Recent advances and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 907, 167963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167963>

Gartner. (2023). *Gartner Digital Markets: Emerging Tech Impact Radar for Content Creation Tools 2023*. Gartner, Inc. <https://www.accrete.ai/resources/gartner-emerging-tech-2023#:~:text=Accrete%20Has%20Been%20Recognized%20in,All%20rights%20reserved>.

Gonzales, L., & Soto, M. (2022). Potencial del biochar obtenido de neumáticos fuera de uso (NFU) para la mejora de suelos agrícolas: una revisión técnica. *Revista de Gestión Ambiental y Energías Renovables*, 8(2), 45-62.

<https://www.redalyc.org/journal/3808/380877291013/html/#:~:text=El%20BC%20permite%20mitigar%20las,et%20al.%2C%202022>.

Granatstein, D., Kruger, C., & Collins, H. (2009). *Use of biochar from the pyrolysis of waste biomass as soil amendment*. Washington State University Extension Publications.

Grupo Soledad. (2023). *Soluciones de reciclaje y valorización de neumáticos para el sector industrial*. <https://weibold.com/spanish-grupo-soledad-shares-its-success-story-of-circular-economy-and-tire-retreading#:~:text=At%20Aspe%20site%20only%2C%20some,grow%20and%20build%20profitable%20businesses>.

Han, M., Wang, J., Zhang, L., Li, X., & Chen, G. (2023). Recent advances in waste tire pyrolysis: A review of process optimization, product upgrading, and environmental impacts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), Article 110027. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110027>

HubSpot. (2023). *State of Marketing Report 2023*. HubSpot Research. <https://www.hubspot.com/state-of-marketing-report#:~:text=The%20State%20of%20Marketing%202023,%2C%20educational%20vid eos%2C%20and%20webinars>.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 – Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. ISO. <https://www.iso.org/standard/60857.html>

JCH Comercial S.A. (2022). *Reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) y soluciones integrales de valorización para los sectores minería, transporte y agroindustria*. JCH

KalTire. (2023). *Reciclaje de Neumáticos Mineros*. <https://www.kaltiremining.com/en/sustainable-solution/recycling/>

Kotler, P., & Pfoertsch, W. (2006). *B2B brand management*. Springer. [https://www.researchgate.net/publication/345181250_B2B_Brand_Management#:~:text=References%20\(0\),and%20\(5\)%20brand%20auditing](https://www.researchgate.net/publication/345181250_B2B_Brand_Management#:~:text=References%20(0),and%20(5)%20brand%20auditing).

Kumar, R., Singh, R. K., & Gupta, R. (2021). *A comprehensive review on the pyrolysis of waste rubber and its future perspectives*. *Fuel*, 285, 119108.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119108>

Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9780203762264>

Li, Y., Gupta, R., Zhang, Q. & You, S. (2023). Review of biochar production via crop residue pyrolysis: Development and perspectives. *Bioresource Technology*, 369, 128423.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128423>

López, J., Ramírez, P., & Fernández, C. (2020). Reutilización de neumáticos fuera de uso en la industria de la construcción: avances y desafíos. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 15(1), 120-135.

Lucidpress. (2023). *Brand Consistency Report: Why a unified visual identity matters for trust, differentiation, and business growth*. Lucid Software Inc.

[https://www.marq.com/blog/brand-](https://www.marq.com/blog/brand-consistency#:~:text=This%20in%20turn%20helps%20to,reducing%20turnover%20in%20the%20process.)

[consistency#:~:text=This%20in%20turn%20helps%20to,reducing%20turnover%20in%20the%20process.](https://www.marq.com/blog/brand-consistency#:~:text=This%20in%20turn%20helps%20to,reducing%20turnover%20in%20the%20process.)

Martínez, J., Pérez, L., & Gómez, R. (2013). *Gestión de operaciones industriales:*

Estructuras organizativas y eficiencia productiva. Editorial Universidad de Sevilla.

<https://www.geprom.com/gestion-de-la->

Mendoza-Carrasco, A., Romero-Gonzales, R., & Huamán, L. (2020). Evaluación de alternativas para la gestión de residuos de neumáticos fuera de uso en operaciones mineras. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 7(2), 45-57.

https://www.researchgate.net/publication/275719456_Treatment_and_disposal_of_tyres_Two_EU_approaches_A_review

- Mendis, D., Walpola, B., & Kumarasinghe, W. (2021). Impact of natural rubber tire waste charcoal on selected soil physical properties. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(3), 546–554.
- Mensah, H., & Boadu, E. (2020). Small-scale pyrolysis initiatives for waste-to-energy conversion in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. *Journal of Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 7(2), 45-59
https://www.researchgate.net/publication/389614043_Addressing_Plastic_Waste_Challenges_in_Africa_The_Potential_of_Pyrolysis_for_Waste-to-Energy_Conversion#:~:text=Abstract:%20Plastic%20waste%20poses%20a,technology%20is%20highlighted%20as%20a
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2024). *Mapa de principales unidades mineras en producción 2024. Gobierno del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/5724261-mapa-de-principales-unidades-mineras-en-produccion-2024trends#:~:text=Some%2047%25%20percent%20of%20B2B,full%20B2B%20Content%20Marketing%20Report>.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2023). *Gestión de Neumáticos Fuera de Uso en el Sector Minero*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2024). *Régimen Especial de Neumáticos Fuera de Uso (NFU), Perú*. Citado el 25 de enero de 2025. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2452205-regimen-especial-de-neumaticos-fuera-de-uso-nfu>
- Ministerio del Ambiente. (2021). Decreto Supremo N.º 024-2021-MINAM. Régimen especial para la gestión y manejo de neumáticos fuera de uso. MINAM.
- Ministerio del Ambiente. (2023). *Informe sobre la gestión de neumáticos fuera de uso en el Perú. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos*.

- Mollis. (2022). *Reciclaje de neumáticos y fabricación de caucho granulado para superficies deportivas y parques infantiles*. <https://mollis.es>
- Moreno Mesa, J., Rodríguez Ramírez, L., & Vallejo Quintero, F. (2025). Evaluación técnica y operativa de plantas de pirólisis para el tratamiento de residuos industriales en Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de Ingeniería y Energía*, 12(1), 55-72
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/22939>
- Muhammad, A., Ali, M., Khan, M., Rehman, S., & Shahzad, K. (2023). Optimization of pyrolysis conditions to improve biochar stability and energy yield from waste tyres. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 169, 105915.
https://www.researchgate.net/publication/351775593_Optimising_pyrolysis_conditions_for_high-quality_biochar_production_using_black_soldier_fly_larvae_faecal-derived_residue_as_feedstock
- Mukherjee, A., & Zimmerman, A. R. (2022). Biochar stability and soil amendment benefits: A critical review of mechanisms and long-term impacts. *Environmental Science & Technology*, 56(5), 2955-2970. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c08468>
- Municipalidad de Lima – Sistema Metropolitano de Información Ambiental (SMIA). (2024). *Capacidad instalada para el manejo y reciclaje de residuos sólidos en Lima Metropolitana, incluyendo neumáticos fuera de uso (NFU)*.
<https://smia.munlima.gob.pe/documentos-publicacion/recientes?tipoDocumento=10&titulo=&tipoDocumentoNorma=ALL&idTematica=46&ambitoAplicacion=ALL#:~:text=INFORME%20ANUAL%20DE%20GESTI%C3%93N%20AMBIENTAL%202024,-Marzo%2C%202025&text=Informe%20Anual%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20correspondiente%20al%20a%C3%B1o%202024%2C%20donde,en%20materia%20de%20gesti%C3%B3n%20ambiental>

- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.
<https://www.strategyzer.com/library/business-model-generation>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2023). *Reporte de fiscalización ambiental en residuos sólidos industriales 2023*. OEFA.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2025). *Administrados sancionados – Portal público*. <https://publico.oefa.gob.pe/administrados-sancionados/>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) (2022). *Informe de gestión ambiental sobre neumáticos fuera de uso en el Perú*. <https://www.oefa.gob.pe>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Strengthening business resilience: Insights for sustainable and resilient enterprises*. OECD Publishing.
https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/support-materials/2023/06/oecd-sme-and-entrepreneurship-outlook-2023_c5ac21d0/SME-Outlook-2023-policy-highlights.pdf
- Pérez, A. L. (2021). Análisis de parámetros operativos en procesos de pirólisis para la valorización de residuos sólidos: revisión y evaluación técnica. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Química*, 14(2), 85-104.
https://www.researchgate.net/publication/338812521_Introductory_Chapter_Pyrolysis#:~:text=La%20pir%C3%B3lisis%20es%20un%20proceso,carbono%20y%20algunos%20productos%20vol%C3%A1tiles.
- Plattner, H., Meinel, C., & Leifer, L. (2018). *Design Thinking: Understand – Improve – Apply* (3rd ed.). Springer.
https://books.google.com.pe/books/about/Design_Thinking.html?id=LAbIwOwHz1MC&redir_esc=y#:~:text=In%202008%2C%20the%20HPI%2DStanford,%2C%20services%2C%20and%20enterprise%20systems.

- Pinilla Forero, S., & Pareja Ayerbe, L. (2023). *Modelos de inclusión social y fortalecimiento comunitario en territorios rurales: estrategias de empleo, capacitación y participación local*.
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1–2), 62–77. <https://hbr.org/2011/01/the-big-idea-creating-shared-value>
- Pretell, J., & Benzaquen, J. (2020). *Evaluación de proyectos de inversión: Enfoque cuantitativo para la toma de decisiones empresariales*. Editorial Universidad del Pacífico. <https://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/110>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2022). *El impacto de los residuos de neumáticos en el medio ambiente y estrategias de gestión sostenible*. Naciones Unidas.
- QuimiNet. (2024). *Precio del caucho reciclado por tonelada: tendencias, factores y aplicaciones industriales*. <https://www.quiminet.com/productos/caucho-reciclado-32501516258/precios.htm>
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- Retema. (2023). Gestión inadecuada de residuos sólidos y su impacto en la calidad del aire. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 36(4), 45–53.
- Retema. (2023). *TNU presenta 10 ventajas del reciclado de neumáticos fuera de uso*.
www.retema.es
- Revelación.pe. (2024). *Innovaciones en pirólisis para el reciclaje de neumáticos en el Perú*.
<https://www.revelacion.pe>

- Revista Minería. (2023). *Gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) en la gran minería peruana: desafíos y proyecciones*. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP).
<https://revistamineria.com.pe>
- Revista Minería. (2023). *Impacto de los neumáticos fuera de uso (NFU) en la industria minera peruana*. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP).
[https://iimp.org.pe/publicaciones/memorias/2023/#:~:text=Desde%20el%20Instituto%20de%20Ingenieros%20de%20Minas,\(Minem\)%20ha%20registrado%20crecimientos%2C%20tanto%20en%20la](https://iimp.org.pe/publicaciones/memorias/2023/#:~:text=Desde%20el%20Instituto%20de%20Ingenieros%20de%20Minas,(Minem)%20ha%20registrado%20crecimientos%2C%20tanto%20en%20la)
- Ries, E. (2011). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Crown Business.
https://books.google.com.pe/books/about/The_Lean_Startup.html?id=tvfyz-4JILwC&redir_esc=y
- Rivera Venegas, M. (2022). Evaluación del rendimiento energético de plantas de pirólisis para residuos sólidos en el Caribe: análisis de casos y parámetros de operación. *Ingeniería y Competitividad*, 24(3), 45–60.
https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/202400/Tesis%20-%20Luis%20Rivera%20Venegas%20-%20Parte%20I.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com
- Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., & Balas, A. (2017). Progress in used tyres management in the European Union: A review. *Waste Management*, 72, 309–321.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.011>
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2023). *Reporte sobre la gestión de residuos en la industria minera peruana*. <https://www.snmpe.org.pe>
- Statista. (2023). *Most effective social media platforms for B2B marketing worldwide in 2023*.
<https://www.statista.com/>

World Intellectual Property Organization. (2021). *Modular pyrolysis plant for decentralized waste processing (WO2021102349A1)*. WIPO.

<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021102349>



Apéndices

Apéndice A: Herramientas de Pensamiento Visual Utilizadas en la Fase de Ideación

Figura A 1

Pensamiento Visual

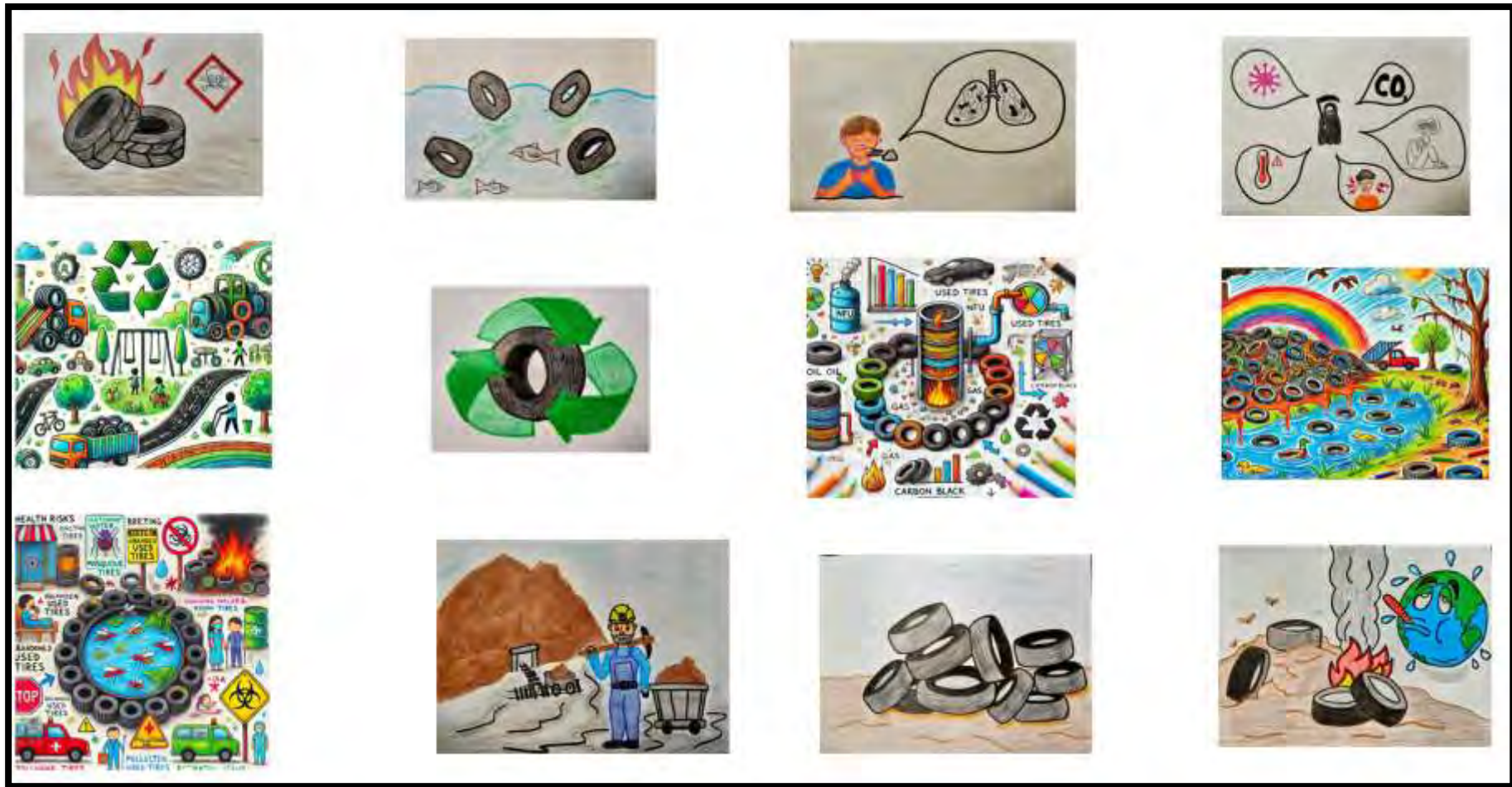


Figura A 2

Pensamiento Abductivo

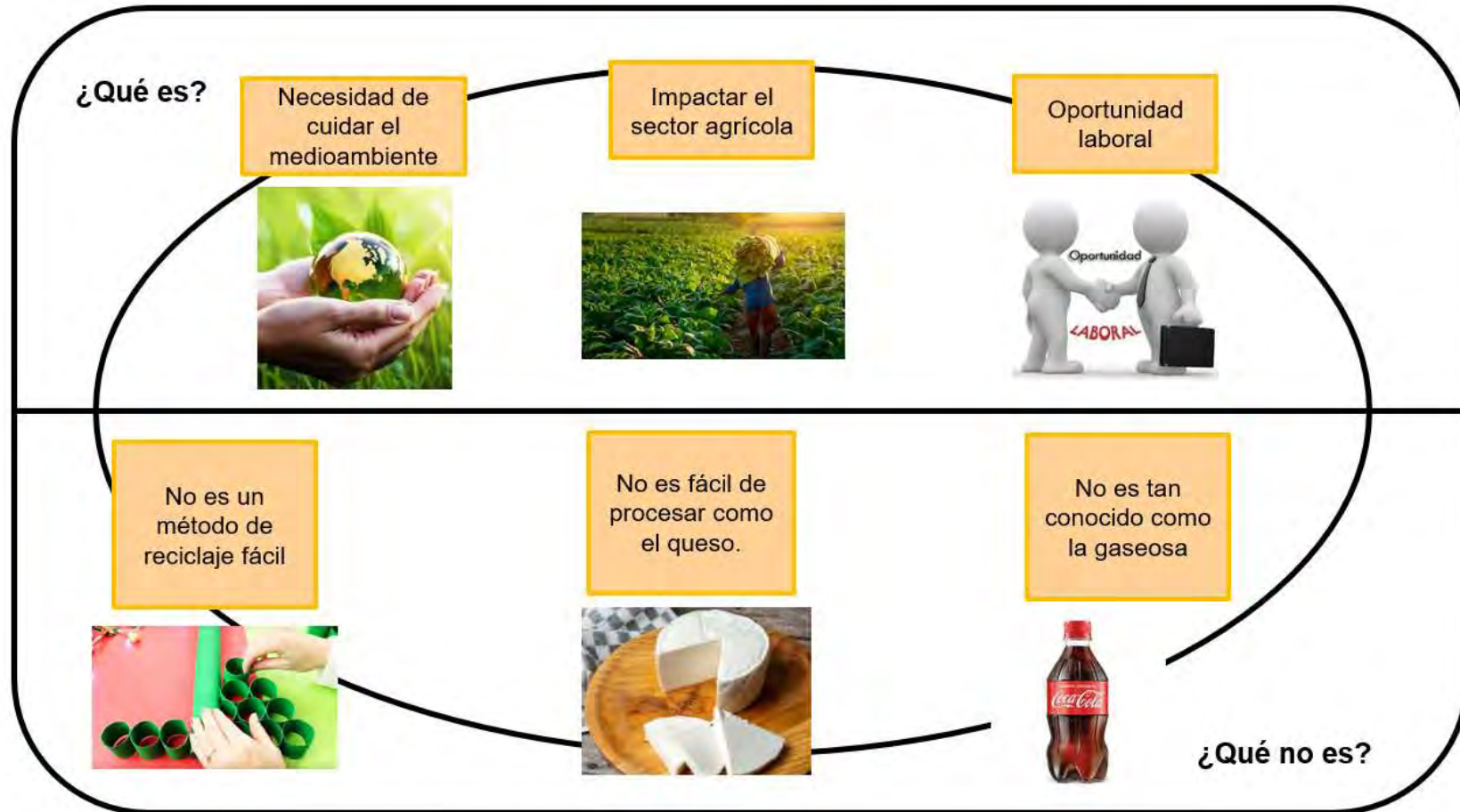


Figura A 3

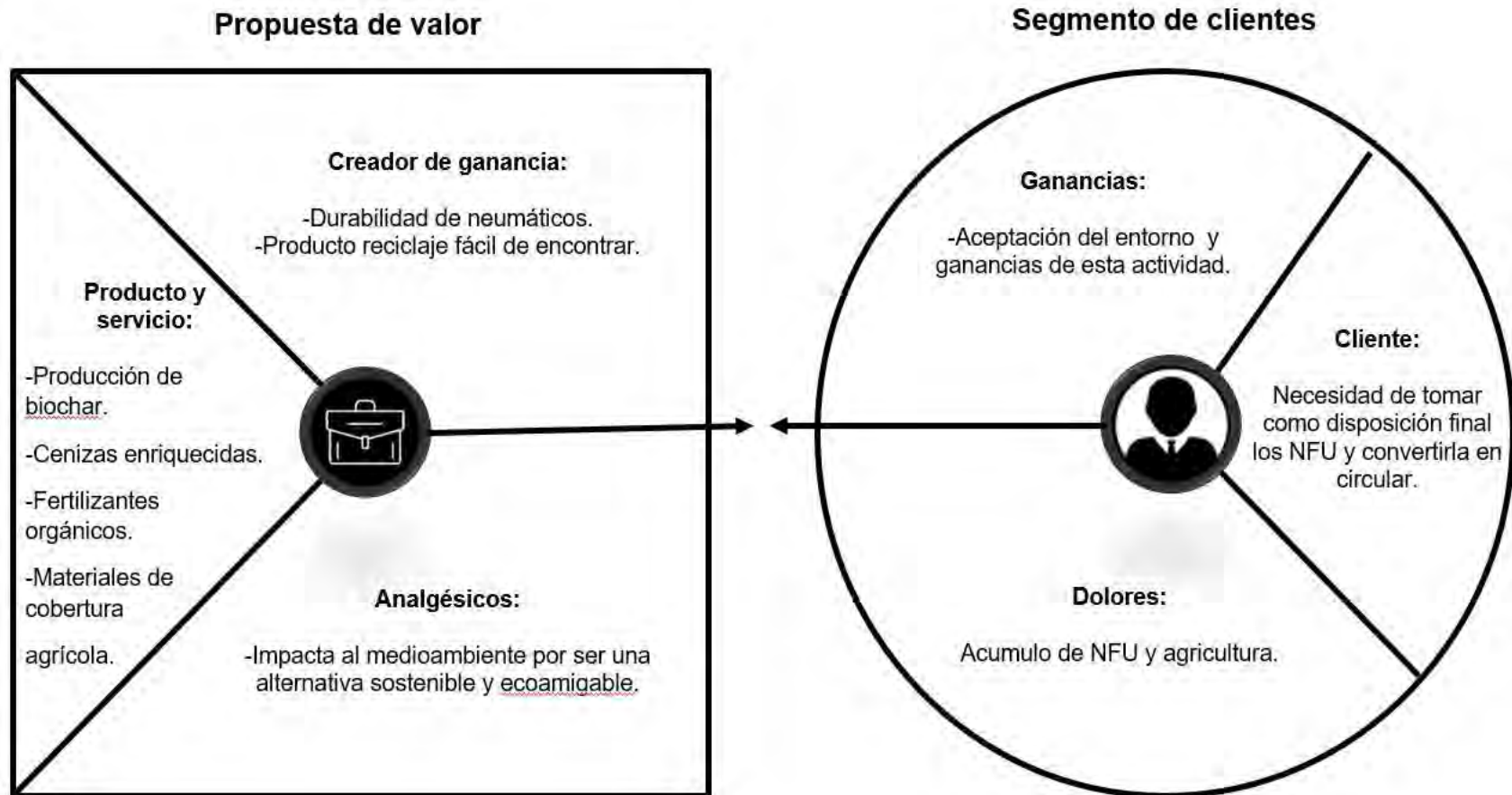
Pensamiento Creativo



Apéndice B: Identificación del Problema a Través del Esquema “¿Qué es?” y “¿Qué no es?”



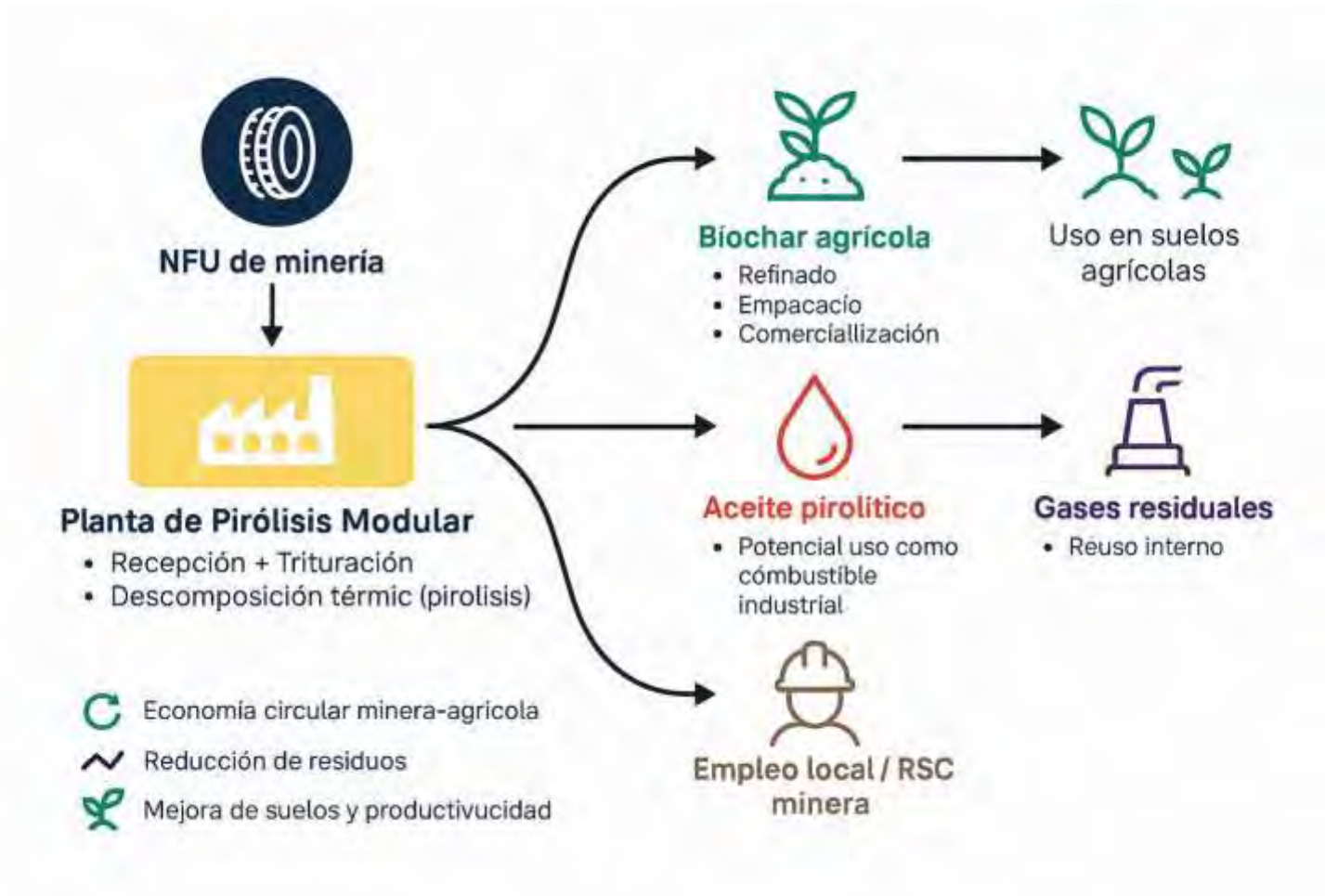
Apéndice C: Mapa de Propuesta de Valor y Segmento de Clientes



Apéndice D: Resultados de la Pirólisis Aplicada a un Neumático OTR de 63



Apéndice E: Diagrama de Flujo del Proceso de Valorización de NFU Mediante Pirólisis



Apéndice F: Resultados de las Tarjetas de Prueba y Aprendizaje del Modelo Prolab

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad Prueba de usabilidad del servicio

Responsable Sheyla Chavez

Paso 1: Hipótesis (Riesgo 🚩🚩🚩)

Creemos que las empresas mineras mostrarán interés en aplicar el biochar por su cuenta si reciben instrucciones claras mediante un video tutorial, sin asistencia directa.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 📊📊📊)

Para verificarlo, nosotros solicitaremos una prueba en sus parcelas guiándose únicamente por el video tutorial, aplicando el biochar y tomando mediciones sin ayuda.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕒🕒🕒)

Además, mediremos si completan bien la prueba y si expresan interés en futuras aplicaciones o colaboración.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si al menos diez empresas realiza la prueba completa por su cuenta y manifiesta interés en continuar el uso del servicio.

Tarjeta de aprendizaje (Strategyzer)

Actividad Prueba de usabilidad del servicio

Responsable Sheyla Chávez

Paso 1: Hipótesis

Creemos que empresas mineras se interesarían en aplicar el biochar tras recibir un tutorial claro y sin apoyo técnico directo.

Paso 2: Observación (Confiabilidad de los datos 📊📊📊)

Observamos que ejecutaron la prueba utilizando el video tutorial, realizando mediciones y mostrando disposición a repetir la experiencia.

Paso 3: Aprendizajes y reflexiones

De ello aprendimos que la hipótesis es válida porque el video fue comprendido correctamente. La autonomía en la aplicación depende de la claridad del material y del interés previo de la empresa.

Paso 4: Decisiones y acciones

Por lo tanto, nosotros escalaremos el uso del tutorial para nuevas empresas. Podemos estandarizar este formato para facilitar la adopción del servicio sin asistencia presencial.

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad Prueba de efectividad del biochar

Responsable Sheyla Chavez

Paso 1: Hipótesis (Riesgo 🤖🤖🤖)

Creemos que la aplicación de biochar mejora variables productivas agrícolas (pH, humedad, etc.) en un mes respecto a una parcela sin intervención.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 📊📊📊)

Para verificarlo, nosotros solicitaremos aplicar biochar en una parcela y comparar resultados con una parcela control, midiendo variables al inicio y al mes.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 🕒🕒🕒)

Además, mediremos pH, retención de humedad y otros indicadores antes y después del mes en ambas parcelas.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si las mediciones muestran mejora de al menos un 5% de mejora en variables agrícolas en la parcela intervenida frente a la de control.

Tarjeta de aprendizaje (Strategyzer)

Actividad Prueba de efectividad del biochar

Responsable Sheyla Chávez

Paso 1: Hipótesis

Creímos que la aplicación de biochar mejoraría variables productivas agrícolas frente a una parcela sin intervención en el plazo de un mes.

Paso 2: Observación (Confiabilidad de los datos 📊📊📊)

Observamos que existen diferencias en retención de humedad y pH. El resultado varió según el tipo de suelo y técnica de aplicación.

Paso 3: Aprendizajes y reflexiones

De ello aprendimos que el biochar se comporta diferente por condiciones edafológicas. Se requiere validar su efecto por tipo de suelo.

Paso 4: Decisiones y acciones

Por lo tanto, nosotros realizaremos pruebas en más parcelas con diferentes tipos de suelo. Evaluaremos la técnica de aplicación y su relación con los nutrientes para consolidar resultados.

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad Entrevistas a clientes potenciales

Responsable Gerson Carhuapoma

Paso 1: Hipótesis (Riesgo □ □ □)

Creemos que las empresas mineras pagarían por la recolección de NFUs y los agricultores valorarían el biochar como insumo para sus cultivos.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos □ □ □)

Para verificarlo, nosotros realizaremos

Entrevistas estructuradas a representantes de empresas mineras y agricultores, explorando su interés real en los servicios ofrecidos.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido □ □ □)

Además, mediremos El porcentaje de

Mineras interesadas en saber más sobre biochar.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si Al menos el 20% de las

Mineras entrevistadas muestran interés en el servicio y al menos el 40% de los agricultores manifiestan interés en conocer más del biochar.

Tarjeta de aprendizaje (Strategyzer)

Actividad Entrevistas a clientes potenciales

Responsable Gerson Carhuapoma

Paso 1: Hipótesis

Creímos que las empresas mineras pagarían por la recolección de NFUs y los agricultores valorarían el biochar como insumo para sus cultivos.

+ Paso 2: Observación (Confiabilidad de los datos 👍 👍 👍)

Observamos que nos mostraron interés, en un total de 70 entrevistas, resaltando beneficios reputacionales potenciales, mientras que los agricultores mostraron interés en probar el biochar.

Paso 3: Aprendizajes y reflexiones

De ello aprendimos que la hipótesis es válida porque existe interés, pero necesitamos educar más al mercado agrícola sobre las ventajas del biochar.

Paso 4: Decisiones y acciones

Por lo tanto, nosotros diseñaremos la difusión del biochar en el sector agrícola y cerraremos acuerdos de recolección de NFU con mineras.

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad Comunicación efectiva

Responsable Isabel Peñaherrera

Paso 1: Hipótesis (Riesgo 1 1 1)

Creemos que una estrategia multicanal basada en LinkedIn, email marketing y participación en eventos de sostenibilidad minera, entonces lograremos captar el interés de al menos el 40% de los líderes de sostenibilidad y responsabilidad social de empresas mineras contactados, quienes solicitarán más información sobre nuestra solución de reciclaje de NFU en [biochar](#) en un plazo de 3 meses.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos 1 1 1)

Para verificarlo, nosotros

Para verificarlo, nosotros contactaremos a líderes de sostenibilidad y responsabilidad social de empresas mineras a través de LinkedIn, campañas de email marketing y participación en eventos de sostenibilidad minera. Registraremos cuántos de ellos solicitan más información o muestran interés en conocer nuestra solución de reciclaje de NFU en [biochar](#).

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido 1 1 1)

Además, mediremos

Además, mediremos la tasa de conversión de interés, calculada como el número de líderes que soliciten más información dividido entre el total de contactos realizados, dentro de un plazo de 3 meses.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si

al menos el 40% de los líderes contactados manifiestan interés en recibir más información o explorar una colaboración sobre nuestra solución.

Tarjeta de aprendizaje (Strategyzer)

Actividad Entrevista

Responsable Isabel Peñaherrera

Paso 1: Hipótesis

Creimos que

una estrategia multicanal basada en LinkedIn, email marketing y participación en eventos de sostenibilidad minera, entonces lograremos captar el interés de al menos el 40% de los líderes de sostenibilidad y responsabilidad social de empresas mineras contactados, quienes solicitarán más información sobre nuestra solución de reciclaje de NFU en [biochar](#) en un plazo de 3 meses.

Paso 2: Observación (Confiabilidad de los datos 4 4 4)

Observamos que

un porcentaje significativo de los líderes contactados mostró interés en recibir más información, principalmente a través de LinkedIn y eventos de sostenibilidad, mientras que la respuesta por email marketing fue más limitada.

Paso 3: Aprendizajes y reflexiones

De ello aprendimos que

La combinación de interacción directa en eventos y comunicación personalizada en LinkedIn es más efectiva para captar el interés de nuestro público objetivo, mientras que las campañas de email requieren una segmentación más precisa y mensajes aún más personalizados para mejorar su efectividad.

Paso 4: Decisiones y acciones

Por lo tanto, nosotros

reforzaremos nuestra presencia en eventos relevantes y optimizaremos nuestras estrategias de LinkedIn, mientras reestructuramos nuestras campañas de email marketing enfocándolas en contenidos más personalizados y segmentados para maximizar el alcance y la tasa de conversión.

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad Prueba de sostenibilidad - Estrategia de sostenibilidad

Responsable Hugo Ocaña

Paso 1: Hipótesis (Riesgo ☐ ☐ ☐)

Creemos que las empresas mineras utilizarán nuestros informes personalizados de impacto ambiental para identificar y reportar potenciales beneficios fiscales en sus sistemas internos de sostenibilidad o auditoría, dentro de un periodo no mayor a 9 meses.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos ☐ ☐ ☐)

Para verificarlo, nosotros

entregaremos los informes personalizados a las empresas mineras seleccionadas y haremos un seguimiento mediante entrevistas, encuestas estructuradas y revisión documental para comprobar si los informes han sido efectivamente utilizados en sus procesos internos de sostenibilidad o reportes fiscales.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido ☐ ☐ ☐)

Además, mediremos

la proporción de empresas que reporten el uso efectivo de los informes en sus auditorías o sistemas de sostenibilidad dentro de los 9 meses posteriores a la entrega.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si

al menos el 50% de las empresas que recibieron los informes confirman que los utilizaron para identificar o reportar beneficios fiscales en sus procesos internos.

Tarjeta de aprendizaje (Strategyzer)

Actividad Informes

Responsable Hugo Ocaña

Paso 1: Hipótesis

Creímos que

las empresas mineras utilizarán nuestros informes personalizados de impacto ambiental para identificar y reportar potenciales beneficios fiscales en sus sistemas internos de sostenibilidad o auditoría, dentro de un periodo no mayor a 9 meses

Paso 2: Observación (Confiabilidad de los datos ☺ ☺ ☺)

Observamos que

una parte de las empresas mineras analizó los informes, pero solo un porcentaje menor los utilizó efectivamente para identificar o reportar beneficios fiscales en sus procesos internos dentro del plazo establecido.

✚ Paso 3: Aprendizajes y reflexiones

De ello aprendimos que

De ello aprendimos que, aunque los informes son valorados por su contenido técnico, es necesario incluir guías prácticas o ejemplos de uso explícitos para facilitar su integración en los sistemas internos de las empresas y acelerar su aplicación en temas fiscales.

Paso 4: Decisiones y acciones

Por lo tanto, nosotros

Por lo tanto, nosotros mejoraremos el diseño de los informes personalizados incorporando recomendaciones claras, casos de uso específicos y acompañamiento técnico para aumentar su aplicabilidad real y fomentar un uso efectivo en los procesos de sostenibilidad y auditoría de las empresas mineras.

Apéndice G: Análisis Financiero del Proyecto: Inversiones, Costos, Ingresos y Rentabilidad

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIONES							
INVERSIÓN INICIAL	USD	(1,820,000)					
COSTOS OPERATIVOS							
ALQUILER LOCAL	USD		(40,000)	(40,000)	(40,000)	(40,000)	(40,000)
COSTOS OPERATIVOS	USD		(495,000)	(660,000)	(660,000)	(660,000)	(660,000)
GASTOS ADMINISTRATIVOS							
GASTOS DE MARKETING	USD		(100,000)	(100,000)	(100,000)	(100,000)	(100,000)
INGRESOS							
PAGO POR TRANSPORTE Y LOGÍSTICA	USD		187,500	250,000	250,000	250,000	250,000
BIOCHAR Y CENIZAS ENRIQUECIDAS	USD		876,000	1,168,000	1,168,000	1,168,000	1,168,000
ACERO	USD		295,650	394,200	394,200	394,200	394,200
ACEITE/GAS (PRODUCTOS DERIVADOS)	USD		219,000	292,000	292,000	292,000	292,000
GAS SINTÉTICO	USD		0	0	0	0	0
FLUJO DE CAJA ANUAL							
(INGRESO - GASTO)	USD	(1,820,000)	943,150	1,304,200	1,304,200	1,304,200	1,304,200
TASA ANUAL	%	10%					
VPN	USD	2,541,561					
TASA INTERNA DE RETORNO	%	57%					
NOTA. ELABORACIÓN PROPIA.							

Apéndice H: Simulación Monte Carlo para Validar Factibilidad VTVC/CAC

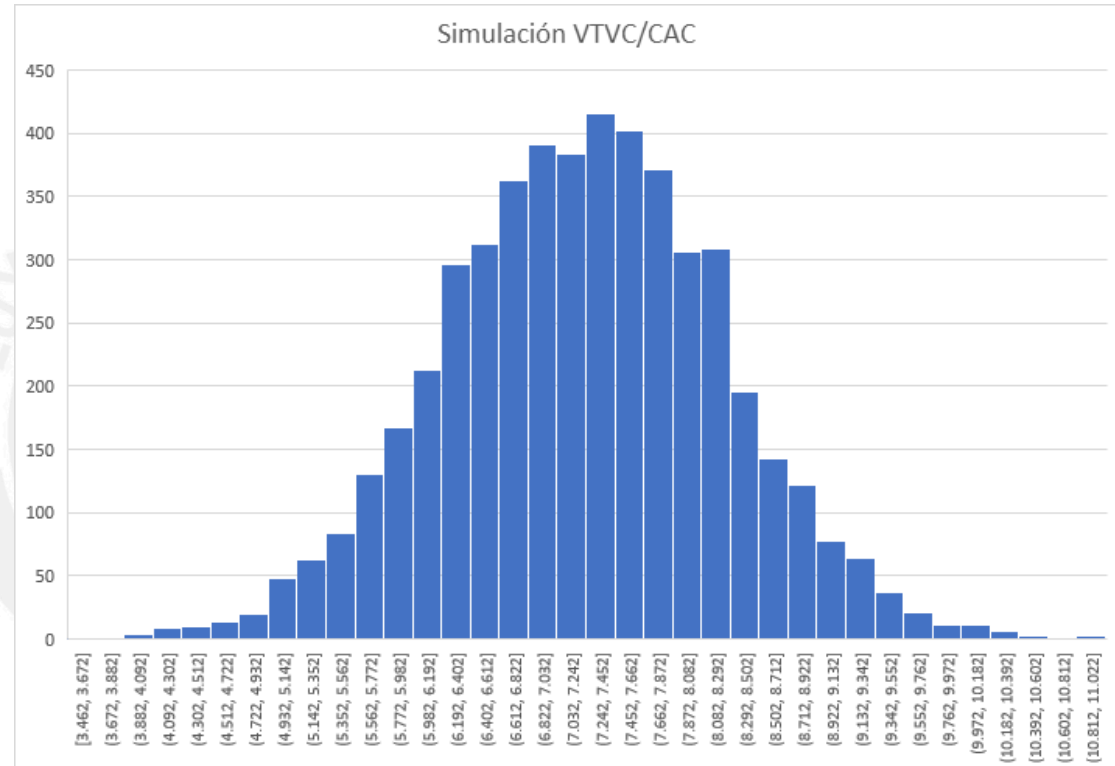
Simulación Monte Carlo VTVC/CAC

	VTVC/CAC	CAC	VTVC
Promedio esperado	7.19	77,486	557,378
Desviación estándar	1.00	6,006	109,752
Primera simulación	6.82	69,153	572,545
Promedio	7.195		
Desviación estándar	1.018		
Mínimo	4.745		
Máximo	10.576		
Alta eficiencia: > 70	100.00%		

Llenar celdas C21 y D21

Las celdas en azul y plomo se llenan automáticamente

Análisis de sensibilidad crecimiento	VTVC	CAC
0.00	454,843	73,100
0.05	477,585	73,100
0.10	525,344	73,100
0.15	604,145	84,065
0.20	724,974	84,065
Promedio	557,378	77,486
DesvEstand	109,752	6,006



Apéndice I: Simulación Monte Carlo para Validar la Viabilidad Financiera VAN

Simulación Monte Carlo para el VAN

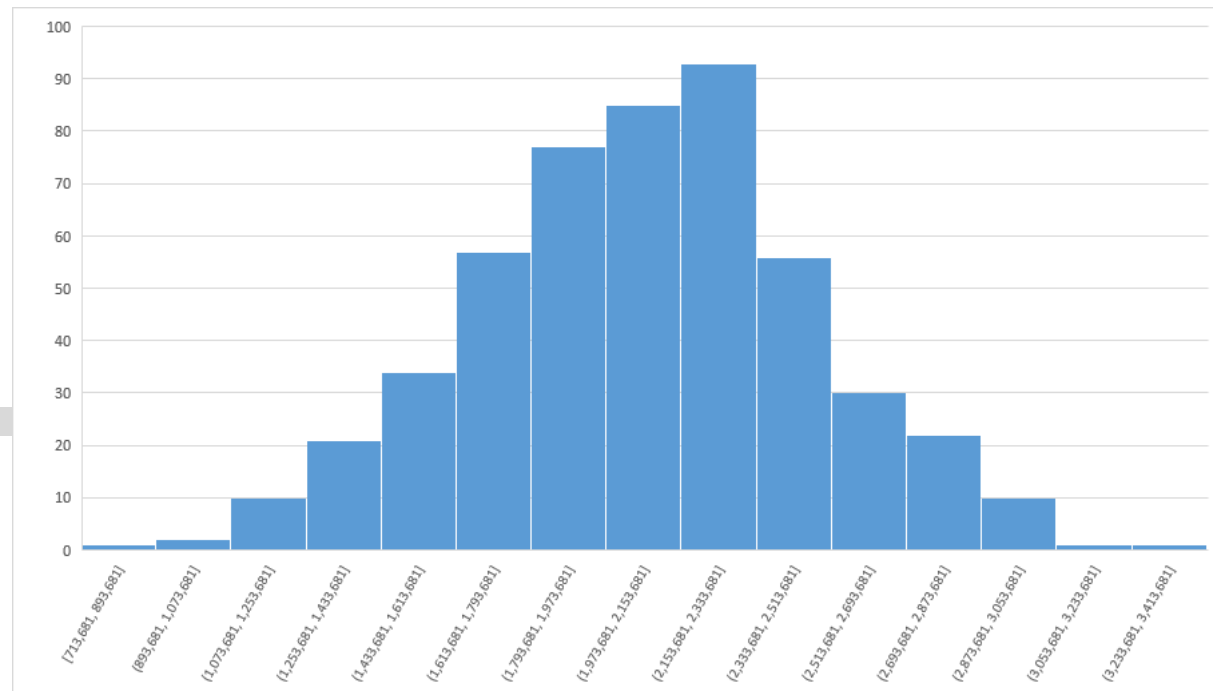
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de caja neto	-1,794,240	32,463	109,137	180,982	824,386	836,688	848,772	860,601	872,137	883,340	894,164
Promedio ponderado de capital	8.69%										
Valor Actual Neto (VAN)	1,711,018										
Tasa Interna de Retorno (TIR)	22%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
Período de retorno (en años)	5.00										

Para obtener la desviación estándar deben probarse varios escenarios	VAN-Prom	VAN-DE
	2,096,732.75	412,863.40
Primera simulacion	1,593,881.25	
VAN promedio simulado	2,065,513.69	
VAN desviación estándar simulada	408467.4407	
VAN mínimo	713,680.91	
VAN máximo	3,303,851.34	
Riesgo de pérdida: VAN < 20,000	0.00%	

Llenar celdas B11:C11 y C28

Las celdas en azul y plomo se llenan automáticamente

Análisis de sensibilidad	crecimiento	VAN
	0.00	1,711,017.97
	0.05	1,796,568.86
	0.10	1,976,225.75
	0.15	2,272,659.61
	0.20	2,727,191.54
	Promedio	2,096,732.75
	DesvEstand	412,863.40



Apéndice J. Guía de Entrevista de Usuario

GUÍA DE ENTREVISTA DE USUARIO	
Introducción	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación del proyecto: Explicación breve del objetivo del proyecto (gestión sostenible de NFU). • Confidencialidad: Asegurar al entrevistado que sus respuestas serán utilizadas únicamente para el proyecto. • Propósito: Identificar necesidades, preocupaciones y expectativas relacionadas con el manejo de NFU.
Sección 1: Contexto y actividades	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es su rol dentro de la empresa? • ¿Qué actividades relacionadas con la gestión ambiental y de residuos realiza en su día a día? • ¿Qué importancia tiene para usted y su empresa la sostenibilidad en la minería? • ¿Qué otras áreas dentro de su empresa trabajan con usted en temas de sostenibilidad?
Sección 2: Problemática actual	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta su empresa en la gestión de neumáticos fuera de uso? • ¿Ha identificado riesgos asociados con la acumulación de neumáticos, como impactos ambientales o sociales? • ¿Existen procedimientos o políticas internas para el manejo de estos residuos actualmente? • ¿Qué tan estandarizado está el reciclaje en su sector?
Sección 3: Expectativas y motivaciones	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué beneficios espera obtener de esta solución? • ¿Cómo impactarían estos beneficios en su empresa (económicamente, socialmente, ambientalmente)? • ¿Qué papel considera que debería jugar su empresa en la responsabilidad social corporativa relacionada? • ¿Qué importancia le da su empresa a la reputación y cómo cree que el reciclaje de NFU puede influir?
Sección 4: Soluciones y alianzas	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué características debería tener una solución para que sea viable para su empresa? • ¿Qué tipo de apoyo o incentivos consideraría esenciales para implementar un programa de reciclaje de NFU? • ¿Estaría dispuesto a colaborar con otras empresas o gobiernos locales para desarrollar esta solución? • ¿Qué alianzas cree que podrían ser estratégicas?
Sección 5: Capacitación y concientización	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Considera que las personas en su empresa y en las comunidades cercanas están suficientemente informadas sobre la importancia del reciclaje de neumáticos? • ¿Qué métodos (talleres, campañas, demostraciones) cree que serían más efectivos para aumentar la concientización? • ¿Qué tipo de capacitación considera necesaria para implementar un programa de reciclaje en su empresa?
Cierre	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Hay algo más que le gustaría agregar sobre las necesidades o expectativas de su empresa respecto a la gestión de NFU? • ¿Estaría interesado en participar activamente en el diseño o implementación de una solución de reciclaje de neumáticos?