



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUBINO DE BELGICA

Evaluación Técnico-Económica en el mercado de los neumáticos fuera de uso (NFU)

Trabajo de Titulación para optar al

Título de Ingeniera en

PREVENCIÓN DE RIESGOS

LABORALES Y AMBIENTALES

Alumna:

Karen Soto Quintanilla

Profesor Guía:

Ing. Víctor Lizama Molina



DEDICATORIA

Este Proyecto de Título está dedicado en especial a mis padres, mi pareja, mis hermanos, y mis sobrinos.

Mi pareja Carola, porque siempre ha estado ahí conmigo en la buenas y en las malas, diciéndome que no me rindiera, que yo podía lograrlo y que nunca dudara de mis capacidades. Te amo por siempre bebé, eres la mejor.

Mi Madre, que estuvo ahí cuando la necesitaba nunca me ha fallado, es una gran mujer y una luchadora. Te amo, no me faltes nunca viejita.

Mi hermanita, que siempre me ha dado los mejores consejos, siempre he podido confiar en ella a ojos cerrados, te amo por siempre.

A mis sobrinos; Martín siempre tan cariñoso y regalón, mi pollito hermoso y a Emilito, un soñador y un viejo chico regalón, que con sus locuras y travesuras siempre me alegran la vida, los amo por siempre.

Mi Padre, le doy las gracias por siempre estar presente y nunca dejar de apoyar a toda su familia, te amo viejito.

Mis Hermanos; Felipe que desde el extranjero siempre me dijo dale hermana tú puedes, no queda nada, y a Emilio que también siempre ha confiado en mí, los amo.

A mis profesores que fueron una parte fundamental en este proceso de formación, gracias por ayudarme a resolver mis dudas con su gran sabiduría, sobre todo al profe Víctor Lizama que es un seco, un gran ejemplo a seguir y al profe Freddy Pacheco por siempre estar cuando lo necesitaba, y como él siempre dice; que todo fluya.

A Dios por siempre estar presente en todo, por darme salud a mí y mi familia.



KEYWORDS: RECICLAJE – MAQUINAS – IMPACTO AMBIENTAL – NEUMATICOS – CONTAMINACION – ECONOMIA CIRCULAR – NORMATIVA AMBIENTAL – TONELADAS – VERTEDEROS.

RESUMEN

En Chile se generan anualmente alrededor de 6,6 millones de neumáticos, lo que corresponde a cerca de 180 mil toneladas al año. Considerando el desgaste por el uso, la generación anual de residuos de neumáticos se estima que bordea las 140 mil toneladas. De estas, solo un 17% aproximadamente se maneja de forma ambientalmente racional, de forma que el porcentaje restante termina siendo depositado de forma ilegal en basurales y vertederos clandestinos, desconociéndose con exactitud el destino de la gran mayoría de los residuos de neumáticos.[57]

Los NFU han emergido como uno de los residuos más problemáticos en Chile, con implicaciones significativas para la salud pública y el medio ambiente. En 2022, se estimó que el país generó más de un millón de toneladas de NFU, y la falta de una gestión adecuada ha ocasionado la proliferación de vertederos ilegales. Se estima que la generación de NFU en Chile se ha duplicado en la última década debido al aumento en la venta de vehículos, lo que ha creado la necesidad de establecer mecanismos de recolección y reciclaje efectivos.[21]

La correcta gestión de NFU no solo reduce el impacto ambiental, sino que también puede generar valor económico a través del reciclaje y la valorización de materiales. Este estudio es relevante para definir políticas que promuevan el manejo sostenible de estos residuos.[30]

Se identificaran las oportunidades de reciclaje y reutilización de los NFU, de esta manera se llevara a cabo un análisis que incluye los costos de recolección y transporte de neumáticos, así como las tecnologías disponibles para su reciclaje. Se evaluará la rentabilidad del NFU granulado.



INICIO

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS:	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO 1:.....	3
1. MARCO TEORICO	3
1.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	3
1.2. ESTADO DEL ARTE	5
1.2.1. Reciclaje de NFU en Chile	5
1.2.2. Reciclaje de NFU en el extranjero.	6
1.3. ASPECTOS TECNICOS	8
1.3.1. Partes de un neumático	8
1.3.2. Composición de un neumático	10
1.4. MAQUINARIAS Y EQUIPOS.....	12
1.4.1. Check list planta de reciclaje (marque con un x)	15
1.4.2. Tamaño de gránulos	15
1.4.3. Subproductos de NFU	16
1.5. ASPECTOS LEGALES	19
1.6. ANALISIS ECONOMICO DE MERCADO DE NFU.....	21
CAPITULO 2:.....	25
2. METODOLOGIA.....	25
CAPITULO 3:.....	27
3. RESULTADOS.....	27
3.1. ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	28
3.2. OPORTUNIDADES Y DESAFIOS.....	29
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	31
BIBLIOGRAFIA	32



SIGLA Y SIMBOLOGIA

SIGLAS

Ton/año: Toneladas por año

Kg: Kilogramos

%: Porcentaje

t: Toneladas

gr: Gramos

SIMBOLOGIA

NFU: Neumático fuera de uso

VAN: Valor actual neto

TIR: Tasa interna de retorno

PIR: Periodo de recuperación de la inversión

USD: Dólar EEUU

REP: Responsabilidad extendida al productor

MDP: Material disponible nivel país

MGP: Material gestionado nivel país



CO ₂ :	Dióxido de carbono
HAP:	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
OIT:	Organización Internacional del Trabajo
SAE:	Sociedad de Ingenieros automotrices
CNE:	Comisión Nacional de Energía
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
CChC:	Cámara Chilena de la Construcción
MMT:	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

INTRODUCCION

La acumulación NFU en vertederos genera problemas de espacio y manejo de residuos. Los neumáticos son voluminosos y ocupan mucho espacio, lo que puede llevar a la saturación de vertederos. La gestión inadecuada de NFU contribuye a la crisis de residuos en Chile, donde los vertederos están alcanzando su capacidad máxima.[53]

La introducción de neumáticos en el mercado chileno ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, lo que ha llevado a un incremento en la generación de NFU. La cantidad de neumáticos desechados anualmente en Chile asciende a miles de toneladas, representando un desafío crítico para la gestión de residuos.[89]

Los NFU pueden liberar sustancias tóxicas, como metales pesados y aceites, que contaminan el suelo y las fuentes de agua. Esto afecta tanto a la flora y fauna local como a la salud de las personas. Los neumáticos desechados pueden ser una fuente de contaminación ambiental debido a la liberación de compuestos químicos nocivos.[62]

Los neumáticos son altamente inflamables y, en caso de incendios, pueden liberar humo tóxico y contaminantes al aire. Esto afecta la calidad del aire y la salud pública. Los incendios de neumáticos generan emisiones de contaminantes que pueden tener efectos adversos en la salud respiratoria de la población.[54]

Los NFU pueden convertirse en criaderos de mosquitos y otros vectores de enfermedades, afectando la biodiversidad local y la salud de las comunidades. La proliferación de vectores en neumáticos desechados puede aumentar el riesgo de enfermedades transmitidas por mosquitos.[22]

Los NFU, si no se gestionan adecuadamente, pueden causar grave contaminación del suelo y del agua, así como ser un foco de plagas. La quema de neumáticos libera compuestos tóxicos que afectan gravemente la salud pública y el medio ambiente.[4]



Estudios demuestran que un NFU de camión reciclado tiene el impacto ecológico de siete árboles, ya que reduce las emisiones de gases tóxicos, disminuye el uso de agua y ahorra energía.[14]

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

- Realizar una evaluación Técnico-Económica del mercado de los NFU en Chile, identificando oportunidades de reciclaje y reutilización que contribuyan al desarrollo sostenible.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un modelo de negocio sustentable para la gestión de los NFU.
- Evaluar las tecnologías disponibles para el reciclaje de neumáticos y su viabilidad técnica y económica.
- Analizar la cantidad y el tipo de los NFU generados en Chile.



CAPITULO 1:

1. MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se define qué son los neumáticos fuera de uso (NFU) y se clasifican según su tipo y condiciones. Según la normativa chilena, los NFU son aquellos neumáticos que han alcanzado el final de su vida útil y no pueden ser utilizados para su propósito original [57] Se explora la normativa y legislación vigente en Chile que regula el manejo de NFU, incluyendo leyes de responsabilidad extendida del productor. La Ley 20.920, conocida como la "Ley de Responsabilidad Extendida del Productor", establece que los productores son responsables de la gestión de los productos al final de su ciclo de vida.[32]

Además, se describen las técnicas de reciclaje y valorización, como la trituración, pirólisis y la conversión a combustibles alternativos, la trituración es uno de los métodos más comunes para el reciclaje de NFU, ya que permite obtener gránulos de caucho que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, como la fabricación de asfalto modificado. La pirólisis, por otro lado, es un proceso termoquímico que descompone los materiales orgánicos a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, generando productos como aceites y gas.[45] La conversión a combustibles alternativos es una técnica que busca transformar los NFU en combustibles para su uso en procesos industriales, contribuyendo así a la reducción de residuos y al aprovechamiento energético.[72]

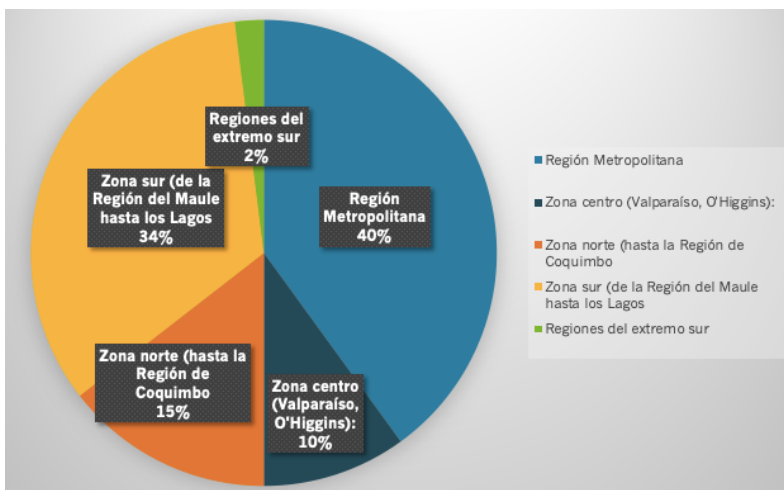


Figura 1-1. Gráfico de distribución de NFU en Chile, detallado por regiones.

Fuente: Elaboración propia, con datos de mma.gob.cl



Figura 1-2. Impacto de los neumáticos abandonados en el ecosistema y en la salud humana.

Fuente: Blog Signus (2023).

1.2. ESTADO DEL ARTE

1.2.1. Reciclaje de NFU en Chile

- Antes de la Ley REP (Antes de 2016)

Situación Previa: Hasta la promulgación de la Ley REP, la falta de normativa en Chile llevaba a una gestión deficiente de los NFU, con un alto porcentaje de neumáticos desechados ilegalmente en el medio ambiente.[66]

Reciclaje Incipiente: A pesar de la falta de regulación, algunas empresas comenzaron a experimentar con el reciclaje de neumáticos a principios de 2000, aunque estas iniciativas eran limitadas.[34]

- Promulgación de la Ley REP (2016)

Ley N° 20.920: La Ley REP representa un cambio significativo en la forma en que se gestionan los residuos en Chile, estableciendo una responsabilidad clara para los productores.[51]

Sistema de Gestión de Neumáticos: La implementación gradual de la Ley REP ha sido un desafío, con una capacidad de reciclaje que aún no satisface la demanda.[58]

- Decreto Exento N° 8 (2021)

Este decreto establece un marco técnico que busca optimizar la gestión de los NFU en el país, con metas de reciclaje ambiciosas para los próximos años.[82]

Meta de Reciclaje: "Las metas de reciclaje establecidas en el Decreto Exento N° 8 reflejan un compromiso por parte del gobierno para aumentar la tasa de reciclaje de NFU en Chile.[71]

- Avances y Retos Actuales (2023-2024)

Infraestructura y Reciclaje: A pesar de los esfuerzos legislativos, el reciclaje de NFU sigue enfrentando desafíos importantes, especialmente en términos de infraestructura.[47]

Iniciativas Privadas y Empresas de Reciclaje: "Las empresas chilenas están comenzando a adoptar tecnologías de reciclaje más avanzadas, mostrando un cambio hacia una economía circular.[28]

1.2.2. Reciclaje de NFU en el extranjero.

- Europa

Directiva Europea de Residuos: La Directiva 2008/98/CE ha sido fundamental para que los países europeos implementen sistemas efectivos de reciclaje de neumáticos, alcanzando tasas superiores al 90%. [44]

Tecnologías de Pirolisis y Granulación: Las tecnologías de pirolisis han permitido a países como Alemania y Suecia maximizar la recuperación de recursos de los NFU.[77]

- Estados Unidos

California Tire Recycling Act: La legislación de California ha establecido un modelo a seguir en la gestión de NFU, logrando altas tasas de reciclaje.[42]

Recycling of Tires Act: Las innovaciones en la granulación de neumáticos han permitido a Estados Unidos avanzar significativamente en la reutilización de.[79]

- Japón

Sistema de Reciclaje Integral: Japón ha implementado un sistema robusto de reciclaje de NFU, alcanzando tasas de reciclaje superiores al 90%.[83]

Tecnología de Pirolisis: La pirolisis ha sido clave en el reciclaje de NFU en Japón, proporcionando energía y recursos valiosos.[94]

- América Latina

Brasil: El sistema nacional de reciclaje en Brasil ha mejorado la gestión de NFU, con regulaciones que promueven su reciclaje.[78]

Argentina: La creación de la Red Nacional de Reciclaje en Argentina ha impulsado el uso de caucho reciclado en diversas aplicaciones.[37]

A medida que Chile avanza en la implementación de la Ley REP y el Decreto Exento N° 8, es esencial aprender de las experiencias internacionales para enfrentar los desafíos del reciclaje de NFU.[92]

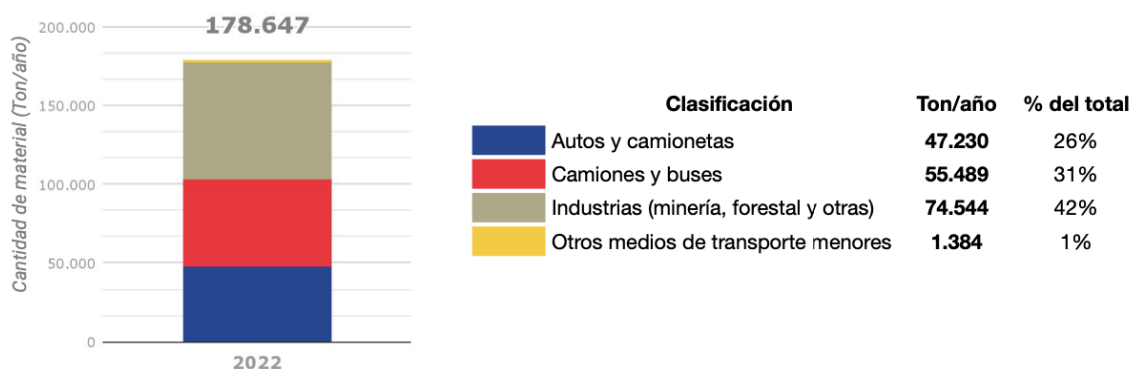


Gráfico 1-1. Clasificación de NFU por Ton/año y % total.

Fuente: Estadística de reciclaje en Chile, diciembre 2023.

País	Neumáticos usados	Partículas de tamaño intermedio			Recuperación NFU		Vertederos
	Volumen	Reutilización	Exportación	Recauchutado	Material	Energía	
Alemania	568	12	58	74	143	289	0
Reino Unido	508	39	49	52	250	95	23
Italia	421	0	29	70	80	170	73
Francia	369	13	13	46	164	133	0
España	314	24	0	40	153	97	0
Total UE-27	3.188	104	154	350	1239	1199	195

Tabla 1-1. Estadísticas de residuos de NFU generados en el extranjero.

Fuente: ETRMA. en miles de toneladas.

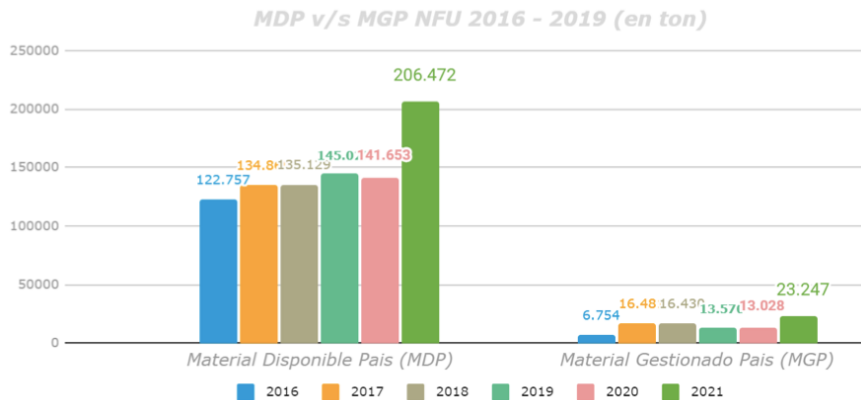


Gráfico 1-2. Se observa que el Material Disponible País.

Fuente: Estudio del Material Disponible País y el reciclado de los productos prioritarios en Chile, 2021.

1.3. ASPECTOS TECNICOS

Aquí se evalúan las tecnologías disponibles para el reciclaje de neumáticos. Se analizan los métodos más comunes, como la trituración mecánica y la pirólisis, comparando su eficiencia, costos e impacto ambiental. Se evalúa la capacidad instalada en el país y el potencial de crecimiento del sector, considerando factores como la demanda de productos reciclados y el apoyo gubernamental.

1.3.1. Partes de un neumático

- Banda de rodadura:
Se trata de la banda de caucho exterior que cubre la carcasa, está sometida a fricción

directamente con el suelo y es la encargada de garantizar la maniobrabilidad, adherencia, resistencia a la rodadura, baja rumorosidad, etc. Según un estudio, la banda de rodadura es crucial para el rendimiento del neumático, ya que afecta la tracción y el manejo del vehículo.[76]

- Hombro:

Es la transición entre la banda de rodadura y los flancos, es la capa de caucho más gruesa de todo el neumático. Su principal función es garantizar la trayectoria del vehículo en curva, así como disipar el calor que se acumula en el interior. El diseño del hombro influye directamente en la estabilidad lateral del neumático.[39]

- Costado o Flanco:

Zona entre el hombro y la llanta que protege la carcasa, el compuesto resistente a la flexión para adaptarse a las deformaciones del neumático. Protege la capa radial de las fricciones e impactos laterales. En el flanco también se ubican todas las inscripciones relativas al mismo. El flanco del neumático es fundamental para absorber impactos y resistir la flexión durante la conducción.[85]

- Talón:

Sujeta el neumático para evitar que se deslice en la llanta, transmite el par motor en situación de aceleración y frenada. Se ajusta perfectamente para evitar que salga el aire. Se compone de varios elementos: alambres de acero resistente formando un cable trenzado circular, caucho y recubrimiento de capas de la carcasa. El talón es la parte que asegura el neumático a la llanta, jugando un papel esencial en la transferencia de fuerza.[52]

- Carcasa (Estructura):

Es la estructura que se encuentra por debajo de la banda de rodadura y los flancos, y da soporte al neumático. Su principal función es soportar el aire a presión contenido, así como los esfuerzos procedentes de la tracción. Da estabilidad y confort. La carcasa

es fundamental para el rendimiento general del neumático, ya que proporciona la integridad estructural necesaria.[17]

- Capa

Interior:

Es la capa de goma interna que hace de cámara y evita que se filtre el aire, facilitando la estanqueidad del neumático. La capa interior es esencial para mantener la presión adecuada dentro del neumático y garantizar su rendimiento.[84]

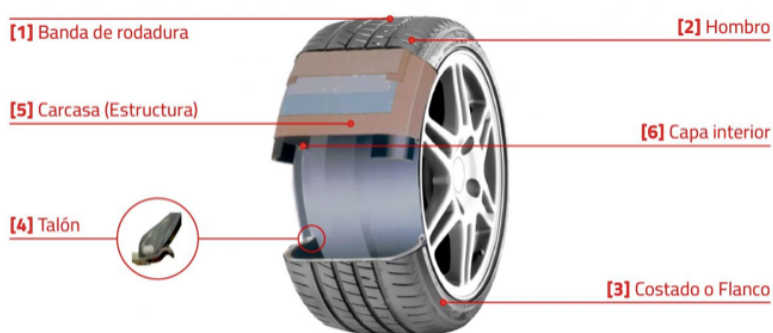


Figura 1-3. Principales partes de un Neumáticos.

Fuente: es.scribd.com

1.3.2. Composición de un neumático

Los neumáticos están compuestos por diversos materiales que aseguran su rendimiento y durabilidad, la composición típica de un neumático incluye:[73]

- Fibra textil: 12% - 15%. Las fibras textiles, como el poliéster y el nylon, se utilizan para reforzar la estructura del neumático, mejorando su resistencia y estabilidad .[74]

- Acero: 12% - 15%. El acero se emplea en la fabricación de las capas internas de los neumáticos, proporcionando soporte estructural y mejorando la resistencia al desgaste.[46]
- Químicos: 1%. Los aditivos químicos, como los antioxidantes y los aceleradores de vulcanización, se utilizan en pequeñas proporciones para mejorar la durabilidad y la performance del caucho.[81]
- Caucho: 70% - 75%. El caucho es el componente principal de un neumático, y su calidad y composición son fundamentales para las características de agarre y resistencia al desgaste.[40]

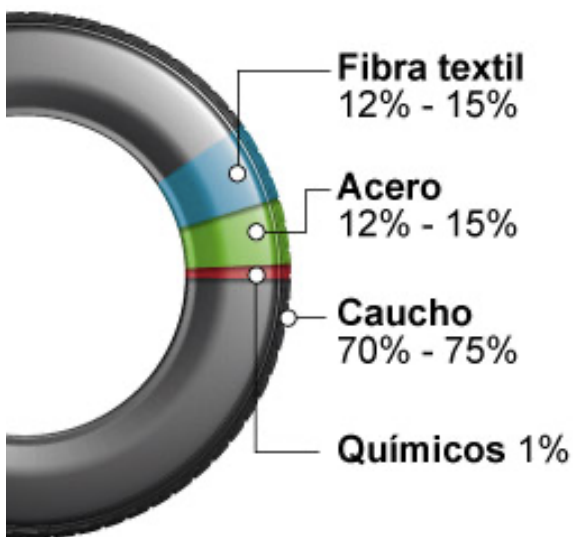


Figura 1-4. Composición de un Neumático.

Fuente: repsaautocentro.com

1.4. MAQUINARIAS Y EQUIPOS



Figura 1-5. Maquina extractora de alambre de acero para neumático.

Fuente: alibaba.com



Figura 1-6. Cinta transportadora industrial de NFU con control automático.

Fuente: alibaba.com



Figura 1-7. Maquina trituradora de neumáticos automática.

Fuente: alibaba.com



Figura 1-8. Maquina vibradora, separa el caucho granulado.

Fuente: alibaba.com



Figura 1-9. Sistema colector de polvo y sus ciclones (filtro de manga), separador de polvo de alta resistencia, con filtro sólido.

Fuente: Alibaba.com

Riesgos	Medidas preventivas
Caidas a mismo y distinto nivel	• Mantener las áreas de trabajo limpias y libres de obstáculos. • Utilizar alfombrillas antideslizantes en zonas críticas. • Señalizar adecuadamente las áreas de riesgo.
Golpes y Cortes	• Proporcionar EPP adecuado, como guantes de protección y calzado de seguridad. • Capacitar a los trabajadores en el uso seguro de herramientas y maquinaria. • Realizar inspecciones regulares de equipos y herramientas.
Lesiones por Maquinaria	• Implementar protocolos de bloqueo y etiquetado (Lockout/Tagout) durante el mantenimiento. • Capacitar a los trabajadores en el manejo seguro de maquinaria. • Instalar resguardos de seguridad en las máquinas.
Manejo manual de cargas	• Capacitar a los trabajadores en técnicas de levantamiento seguro. • Utilizar equipos de elevación, como carretillas o grúas, para mover cargas pesadas. • Fomentar el trabajo en equipo para levantar objetos pesados.
Atrapamiento por Maquinaria	• Capacitar a los trabajadores sobre los riesgos de atrapamiento y cómo prevenirlos. • Realizar un mantenimiento regular de las máquinas para asegurar que todas las partes móviles estén en buen estado y con los dispositivos de seguridad funcionando. • Implementar barreras, resguardos y sistemas de parada de emergencia en maquinaria para prevenir el acceso a partes móviles.

Tabla 1-2. Riesgos de accidentes y Medidas preventivas

Fuente: Elaboración propia.

Riesgos	Medidas preventivas
Enfermedades Respiratorias	• Implementar sistemas de ventilación adecuados en el área de trabajo. • Proporcionar equipos de protección personal (EPP), como mascarillas o respiradores. • Realizar monitoreos regulares de la calidad del aire en el lugar de trabajo.
Dermatitis y Problemas de Piel	• Proporcionar guantes y ropa protectora adecuada. • Establecer estaciones de lavado y desinfección para los trabajadores. • Capacitar a los empleados sobre la importancia de la higiene personal.
Lesiones Musculoesqueléticas	• Implementar técnicas de levantamiento seguro y ergonomía en el trabajo. • Utilizar equipos mecánicos para el manejo de cargas pesadas. • Fomentar pausas regulares y ejercicios de estiramiento.
Infecciones	• Mantener un control adecuado de la acumulación de agua en los neumáticos. • Proporcionar formación sobre la prevención de enfermedades transmitidas por vectores. • Implementar medidas de control de plagas en la planta.

Tabla 1-3. Riesgos de enfermedades profesionales y Medidas preventivas

Fuente: Elaboración propia.

1.4.1. Check list planta de reciclaje (marque con un x)

- Asegurarse de que las máquinas de clasificación estén en buen estado.
- Verificar que el personal esté capacitado para operar el equipo.
- Realizar mantenimiento preventivo de maquinaria y equipos.
- Comprobar el funcionamiento de cintas transportadoras y trituradoras.
- Revisar los sistemas de filtración y ventilación.
- Mantener un registro de las reparaciones y mantenimientos realizados.

1.4.2. Tamaño de gránulos

- Gránulos de caucho 1 a 2,5mm
- Gránulos de caucho 2.5 a 3,5mm
- Gránulos de caucho 3.5 a 5mm



Figura 1-10. Gránulos de caucho en distintos tamaños y colores.

Fuente: es.made-in-china.com

1.4.3. Subproductos de NFU

- **Acero:** Aproximadamente 10% a 15% del peso del neumático es acero. Este material se utiliza principalmente en la malla metálica interna del neumático. El acero puede ser recuperado mediante métodos de separación magnética y posteriormente reciclado para ser reutilizado en la fabricación de nuevos productos metálicos. Cantidad aproximada: Si un neumático pesa alrededor de 8 kg, la cantidad de acero recuperable será entre 800 gramos y 1.2 kg. De acuerdo con la Asociación Internacional de Reciclaje de Neumáticos, el acero reciclado de neumáticos se puede reutilizar en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta la manufactura de nuevos productos metálicos.[73]
- **Textiles:** Alrededor del 5% a 10% del peso del neumático son fibras textiles, que provienen de la carcasa interna del neumático. Las fibras pueden ser recicladas o utilizadas en otros productos industriales, como aislantes acústicos, ropa, o incluso como combustibles alternativos en plantas de incineración. Según un estudio del Instituto Nacional de Normas y Tecnología, las fibras textiles recuperadas de

neumáticos pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones industriales, aumentando la sostenibilidad en la producción.[60]

- **Aceite y Líquidos:** Aproximadamente 5% a 10% del neumático puede ser transformado en aceite durante el proceso de pirolisis o pirólisis. Este aceite puede ser usado como combustible alternativo o en la fabricación de productos petroquímicos. Un neumático promedio de 8 kg puede generar entre 400 gr y 800 gr de aceite. Investigaciones realizadas por la Universidad de Tecnología de Virginia indican que la pirolisis de neumáticos puede producir aceites que son viables como fuentes de energía renovable.[93]
- **Gases (pirolisis):** Durante la pirolisis, los gases generados, como el gas metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros compuestos volátiles, pueden ser utilizados como energía para el proceso de reciclaje o como materia prima para producir energía o productos químicos. Los gases generados durante la pirolisis pueden ser captados y utilizados para generar energía, lo que mejora la eficiencia del proceso.[87]
- **Polvo de Caucho:** Aproximadamente 5% a 10% del neumático puede convertirse en polvo de caucho a través de trituración o molienda. El polvo de caucho se utiliza en diversas aplicaciones, como superficies de juegos infantiles y pavimentos. El polvo de caucho reciclado es un material versátil que puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones, reduciendo así la necesidad de nuevos recursos.[27]



Figura 1-11. Subproductos del reciclaje de NFU.

Fuente: arrigoniambientalnfu.cl



Plano 1-1. Propuesta de vista de planta, proyecto planta de reciclaje NFU

Fuente: Elaboración propia.

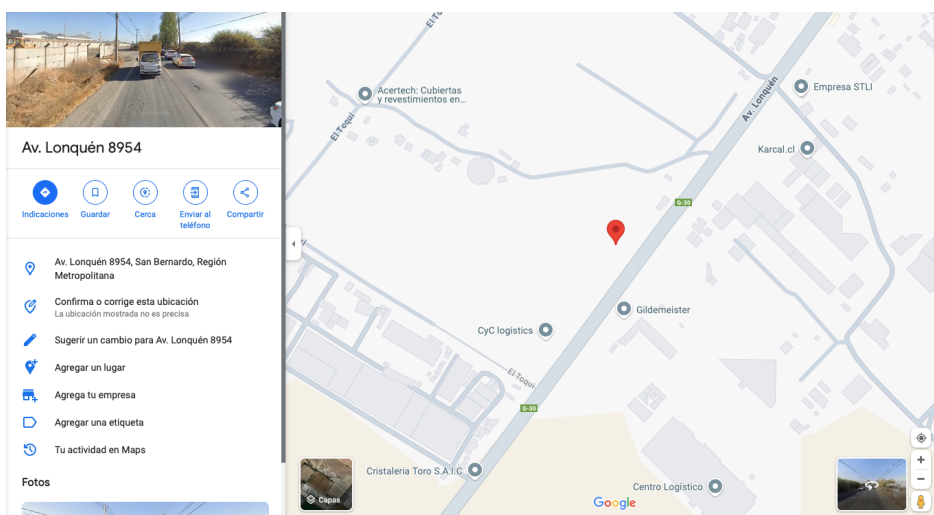


Figura 1-12. Propuesta de ubicación física de planta de reciclaje de NFU.



Fuente: Google Maps

1.5. ASPECTOS LEGALES

- Ley N° 20.920, conocida como Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP), establece las bases para la gestión de residuos y la responsabilidad extendida de los productores en Chile. Su objetivo es promover la gestión adecuada de los residuos generados por productos de consumo, con el fin de reducir su impacto ambiental, fomentar el reciclaje y apoyar la transición hacia una economía circular. Esta ley tiene un enfoque integral, cubriendo diferentes tipos de residuos, incluidos los Neumáticos Fuera de Uso (NFU), los cuales se regulan específicamente para evitar su acumulación y el impacto ambiental negativo que generan. Los productores deben asumir la responsabilidad de los productos al final de su vida útil, para que sean gestionados de manera adecuada.
- Decreto Exento N° 8, publicado el 20 de enero de 2021 por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, establece las normas técnicas y disposiciones operacionales para la gestión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el marco de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP). Este decreto regula la responsabilidad de los productores de neumáticos, incluyendo fabricantes, importadores y distribuidores, en relación con la recolección, reciclaje y disposición de los neumáticos una vez que llegan al final de su vida útil.



Figura 1-13. Diagrama de flujo de procesos, de las etapas del reciclaje de NFU.

Fuente: Elaboración propia.

1.6. ANALISIS ECONOMICO DE MERCADO DE NFU

- La evaluación económica del mercado de neumáticos fuera de uso (NFU) implica analizar costos de recolección, reciclaje y posibles ingresos generados por la venta de productos reciclados. El desarrollo de un mercado eficiente para productos reciclados podría generar ingresos significativos y fomentar la economía circular.[23]. Para evaluar la viabilidad del proyecto de gestión de neumáticos fuera de uso en Chile, se han calculado indicadores financieros clave como el VAN, la TIR) y el PRI.
- El VAN se calcula descontando los flujos de caja futuros esperados al presente y restando la inversión inicial. Según la literatura financiera, un VAN positivo indica que el proyecto generará valor adicional y es financieramente viable.[20]
- La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Se considera un indicador crucial para la toma de decisiones de inversión. Un proyecto es atractivo si la TIR es mayor que la tasa de descuento. Una TIR superior al costo de capital indica un proyecto rentable.[26]
- El PRI es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto. Se considera un indicador de riesgo, ya que un PRI corto implica una recuperación más rápida de la inversión.[43]

Recursos que consume la Organización				
Costos Inicial	Unidad	Cantidad	Total	
Terreno	\$ 210.790	1	\$ 210.790	USD
Cintas transportadoras	\$ 6.500	2	\$ 13.000	USD
Maquinas trituradoras	\$ 8.400	1	\$ 8.400	USD
Contenedores	\$ 2.634	5	\$ 13.170	USD
Maquina destalonadora	\$ 3.000	1	\$ 3.000	USD
Cinta vibradora	\$ 15.000	1	\$ 15.000	USD
Filtro de manga	\$ 6.000	2	\$ 12.000	USD
Camiones	\$ 52.692	3	\$ 158.076	USD
Camionetas 4x4	\$ 10.539	3	\$ 31.617	USD
Maxi sacos industriales	\$ 6	5.000	\$ 30.000	USD
computadores	\$ 527	10	\$ 5.270	USD
escritorios	\$ 105	10	\$ 1.050	USD
sillas	\$ 53	10	\$ 530	USD
Sueldos	mensual	meses	anual	
Administrador	\$ 3.689	12	\$ 44.268	USD
jefe de marketing	\$ 2.635	12	\$ 31.620	USD
Jefe de operaciones	\$ 2.635	12	\$ 31.620	USD
Administrativo comercial	\$ 1.897	12	\$ 22.764	USD
Administrativo de operaciones	\$ 1.897	12	\$ 22.764	USD
Supervisor de planta	\$ 1.686	12	\$ 20.232	USD
Supervisor de logística	\$ 1.686	12	\$ 20.232	USD
Prevencionista	\$ 1.791	12	\$ 21.492	USD
4 Operadores de maquinaria	\$ 3.794	12	\$ 45.528	USD
Mecanico industrial	\$ 1.264	12	\$ 15.168	USD
3 Conductores	\$ 3.161	12	\$ 37.932	USD
Gastos basicos	mensual	meses	anual	
electricidad	\$ 527	12	\$ 6.324	USD
agua	\$ 105	12	\$ 1.260	USD
internet	\$ 52	12	\$ 624	USD
gas	\$ 84	12	\$ 1.008	USD
telefono	\$ 52	12	\$ 624	USD
costos de mantención	mensual	meses	anual	
combustible	\$ 2.107	12	\$ 25.284	USD
aceite para maquinas	\$ 1.053	12	\$ 12.636	USD
EPP	\$ 1.053	12	\$ 12.636	USD
marketing y publicidad	\$ 2.017	12	\$ 24.204	USD

Tabla 1-3. Flujo de caja, recursos que consume la organización.

Fuente: Elaboración propia.



Inversión Inicial	\$	1.000.000	USD
capital de trabajo	\$	500.000	USD
terreno	\$	210.790	USD
Ventas (sacos de 1.000 kilos)			
año 1-2	\$	500	USD/unidades
año 3-5	\$	600	USD/unidades
año 6-10	\$	750	USD/unidades
unidades		1.500	unidades/año
costo fijo (gastos basicos)	\$	9.840	USD/año
costo fijo (sueldos)	\$	313.620	USD/año
costos variable (mantención)			
año 1-10	\$	74.760	USD/año
depreciación (camiones)	\$	1.053	USD/año
depreciación (camionetas)	\$	1.053	USD/año
depreciación (maquinaria)	\$	1.053	USD/año
año 1-10	\$	3.159	USD/año
Impuesto		27%	
tasa descuento		15%	

Tabla 1-4. Evaluación del proyecto, total de inversión inicial, ventas por años, costos fijos, costos variables, depreciación, impuesto, tasa de descuento.

Fuente: Elaboración propia.

	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
ventas		\$ 750.000	\$ 750.000	\$ 900.000	\$ 900.000	\$ 900.000	\$ 1.125.000	\$ 1.125.000	\$ 1.125.000	\$ 1.125.000	\$ 1.125.000
costos (sueldos)		\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620	\$ 313.620
costos (gastos basicos)		\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840	\$ 9.840
costos (mantención)		\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760	\$ 74.760
depreciación (-)		\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159
utilidad antes de impto (bruta)		\$ 354.939	\$ 354.939	\$ 504.939	\$ 504.939	\$ 504.939	\$ 729.939	\$ 729.939	\$ 729.939	\$ 729.939	\$ 729.939
impuesto		\$ 95.834	\$ 95.834	\$ 136.234	\$ 136.234	\$ 136.234	\$ 197.084	\$ 197.084	\$ 197.084	\$ 197.084	\$ 197.084
utilidad despues impto (neta)		\$ 259.105	\$ 259.105	\$ 368.605	\$ 368.605	\$ 368.605	\$ 532.855	\$ 532.855	\$ 532.855	\$ 532.855	\$ 532.855
depreciación (+)		\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159	\$ 3.159
capital de trabajo		\$ 500.000									
inversión		\$ 1.000.000									
terreno		\$ 210.790									
flujo de caja		\$ 1.710.790	\$ 262.264	\$ 262.264	\$ 371.764	\$ 371.764	\$ 371.764	\$ 536.014	\$ 536.014	\$ 536.014	\$ 536.014

Tabla 1-5. Resultados finales de flujo de caja, con proyección de 10 años

Fuente: Elaboración propia.



VAN	\$1.961.526,01
TIR	18%
PRI	
Año 1	\$ 262.264
Año 2	\$ 524.529
Año 3	\$ 896.293
Año 4	\$ 1.268.058
Año 5	\$ 1.639.822
Año 6	\$ 2.175.837
Año 7	\$ 2.711.851
Año 8	\$ 3.247.866
Año 9	\$ 3.783.880
Año 10	\$ 4.319.895

Tabla 1-6. Resultados de rentabilidad del proyecto, en base al VAN, TIR y PRI.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 2:

2. METODOLOGIA

Se realizara una evaluación técnico-económica en donde se llevara a cabo un análisis que incluye los costos de recolección y transporte de neumáticos, así como las tecnologías disponibles para su reciclaje. Se evalúa la rentabilidad de diferentes métodos de tratamiento, como la pirolisis y el triturado mecánico.

Se identificaran oportunidades de reciclaje y reutilización, se identificaran oportunidades como la reutilización del caucho granulado para la fabricación de pavimentos, canchas de tenis, piso de juegos infantiles, canchas de futbol, entre otras.

Contribuir al desarrollo sostenible, al implementar un sistema de reciclaje eficiente, se reduce la cantidad de neumáticos que terminan en vertederos, lo que contribuye a la reducción de la contaminación y a la preservación de los recursos naturales.

Proponer un modelo de negocios sustentable para la gestión de los NFU, se propone un modelo de negocio que incluye la colaboración entre fabricantes de neumáticos, empresas de reciclaje y autoridades locales. El modelo contempla incentivos económicos para la recolección y el reciclaje de NFU.

Evaluar las tecnologías disponibles para el reciclaje de los NFU, se investigan diferentes tecnologías, como el reciclaje mecánico (triturado), la pirolisis (descomposición térmica) y la gasificación.



Figura 2-1. Diagrama de flujo de procesos, para implementar la metodología.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 3:

3. RESULTADOS

- a) En este proceso se tiene una eficiencia por cada NFU reciclado de 5.6 kg lo cual equivale al 70% (un NFU de 8 kg).
- b) Se puede analizar un potencial mercado con el subproducto de un Acero de 0.8 kg lo cual equivale al 10%.
- c) El Decreto Exento N° 8/2021 y la Ley REP promueven la economía circular y busca reducir el impacto ambiental de estos residuos.
- d) Se tiene que analizar, si este proyecto ingresara o no al sistema de evaluación de Impacto Ambiental.
- e) VAN: es positivo lo que implica que el proyecto de inversión produce un rendimiento superior al mínimo requerido y ese exceso irá a parar a los apostadores de la empresa, quiénes verán el crecimiento del capital exactamente en dicha cantidad.
- f) TIR: es de 18% por lo tanto es mayor que la tasa de descuento utilizada lo que significa que el proyecto es rentable.
- g) PIR: nos muestra que en año 6 se estaría recuperando la inversión total.

3.1. ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Eficiencia del Proceso de Reciclaje: La eficiencia del proceso de reciclaje se establece en 5.6 kg de NFU reciclado por cada NFU de 8 kg, lo que equivale a un 70% de eficiencia. Esto es un indicador positivo, ya que una eficiencia del 70% en el reciclaje de NFU es un rendimiento bastante alto en comparación con otros procesos de reciclaje. Este nivel de eficiencia sugiere que el proceso es efectivo en la recuperación de materiales útiles, lo cual es clave para la sostenibilidad y la economía circular.

Potencial de Mercado para Subproductos: El análisis del potencial mercado para el subproducto de acero, que se estima en 0.8 kg (equivalente al 10% del NFU reciclado), es otro indicador positivo. Esto sugiere que además del reciclaje del NFU, el proyecto tiene la capacidad de generar un subproducto valioso que puede ser comercializado. Esto no solo genera ingresos adicionales, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir la necesidad de extracción de nuevos recursos.

Cumplimiento Normativo y Sostenibilidad: El Decreto Exento N° 8/2021 y la Ley REP refuerzan la importancia de la economía circular y la reducción del impacto ambiental de los residuos. La alineación del proyecto con estas normativas no solo aumenta su viabilidad legal, sino que también mejora su imagen pública y puede facilitar el acceso a incentivos gubernamentales o financiamiento para proyectos sostenibles.

Evaluación de Impacto Ambiental: Es importante analizar si el proyecto debe ingresar al sistema de evaluación de Impacto Ambiental. Dado que el reciclaje de NFU puede tener implicaciones ambientales, es esencial asegurarse de que se cumplan todos los requisitos y regulaciones pertinentes. Esto no solo es crucial desde un punto de vista legal, sino que también es fundamental para mitigar cualquier posible impacto negativo en el entorno.

Viabilidad Financiera: Un VAN positivo indica que el proyecto de inversión producirá un rendimiento que supera el mínimo requerido. Este resultado sugiere que el proyecto es

financieramente viable y que generará beneficios económicos para la empresa y sus apostadores.

Con una TIR del 18%, que es superior a la tasa de descuento utilizada, se confirma que el proyecto es rentable. Esto implica que la inversión no solo recuperará el capital, sino que también generará un rendimiento atractivo.

Con un PIR: El hecho de que se estime recuperar la inversión total en el año 6 es un indicador de que el proyecto tiene un flujo de caja positivo y una buena planificación financiera, un PIR relativamente corto es atractivo para los inversionistas.

3.2. OPORTUNIDADES Y DESAFIOS

A pesar de los desafíos que enfrenta el mercado de NFU en Chile, como la falta de infraestructura adecuada y la necesidad de mayor educación pública, existen oportunidades para el desarrollo de nuevos productos y mercados [70]. La innovación en el uso de NFU puede abrir nuevas vías para el crecimiento económico sostenible [86]. El aprovechamiento de los NFU podría reducir significativamente la dependencia de combustibles fósiles y contribuir a la sostenibilidad ambiental.[24]

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos del proyecto de reciclaje de los NFU revela un panorama favorable en varios aspectos clave. La eficiencia del proceso de reciclaje, establecida en un 70%, indica un rendimiento notable en la recuperación de materiales. Según la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. Además, el potencial de comercialización del acero recuperado amplía las oportunidades de ingresos y resalta la viabilidad económica del proyecto. La alineación con normativas ambientales y de sostenibilidad no solo asegura la legalidad del proyecto, sino que también mejora su reputación en el mercado. Por último, los indicadores financieros, como un VAN positivo y una TIR del 18%, evidencian la rentabilidad del proyecto, lo que sugiere que es una inversión atractiva y sostenible a largo plazo. Las inversiones en sostenibilidad no solo generan beneficios económicos, sino que también contribuyen a la resiliencia ambiental.[19]

La gestión de NFU en Chile está en una etapa de transformación. Se requieren esfuerzos continuos para superar los desafíos existentes y maximizar las oportunidades. Se recomienda fortalecer la infraestructura de reciclaje y promover la educación sobre la importancia de la gestión de NFU. La educación y la concientización son fundamentales para mejorar la tasa de reciclaje y la gestión de residuos en el país.[90]

RECOMENDACIONES

Optimización del Proceso de Reciclaje: Continuar investigando e implementando mejoras en el proceso de reciclaje para incrementar aún más la eficiencia, buscando alcanzar o superar el 80% de recuperación de materiales.

Desarrollo de Estrategias de Comercialización: Explorar activamente el mercado del acero recuperado y establecer alianzas con empresas que puedan beneficiarse de este material, aumentando así las oportunidades de ingresos.

Cumplimiento Ambiental: Realizar un análisis exhaustivo para determinar si el proyecto debe someterse a la evaluación de impacto ambiental. En caso afirmativo, iniciar los trámites pertinentes lo antes posible para garantizar el cumplimiento de todas las normativas. La evaluación de impacto ambiental es una herramienta esencial para garantizar que se consideren adecuadamente los efectos ambientales de un proyecto.[68]

Educación y Concienciación: Implementar programas de educación y concienciación sobre la importancia del reciclaje de NFU y sus beneficios para el medio ambiente y la economía, involucrando a la comunidad y a posibles socios comerciales. La educación es clave para fomentar comportamientos sostenibles y crear una cultura de reciclaje en la sociedad.[88]

Monitoreo y Seguimiento: Establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar tanto el rendimiento del reciclaje como el impacto ambiental del proyecto, permitiendo ajustes rápidos en caso de ser necesario. El monitoreo regular de los procesos industriales es crucial para garantizar la sostenibilidad y el cumplimiento de las normativas ambientales.[61]

BIBLIOGRAFIA

- [1] ACUERDO DE PRODUCCIÓN LIMPIA. Prevención y valorización de neumáticos fuera de uso. Santiago, 12 de agosto de 2009. Disponible en: <content/uploads/2015/07/APL-neumaticos-2009.pdf> [Accedido: 07 enero 2025].
- [2] AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE EE. UU. (EPA). 2020. Recycling Basics. Disponible en: <recycle/recycling-basics> [Accedido: 07 enero 2025].
- [3] Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA). 2020. Managing Used Tires. Recuperado de: <recycle/managing-used-tires> [Accedido: 07 enero 2025].
- [4] AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE EE.UU. (2017). Impactos ambientales de la quema de neumáticos.
- [5] AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE. 2019. *The role of waste management in the circular economy: an analysis of the EU waste management policy*.
- [6] ALIBABA.COM. Dust Separator Dust collector And Heavy [en línea]. Disponible en: <product-detail/dust-Separator-Dust-collector-And> [Accedido: 07 enero 2025].
- [7] ALIBABA.COM. Fully auto control concrete batching plant [en línea]. [s.l.]: Alibaba, [s.f.]. Disponible en: <product-detail/fully-auto-control-concrete-batching-plant> [Accedido: 07 enero 2025].
- [8] ALIBABA.COM. New Tech Whole Tire Rubber Shredder [en línea]. Disponible en: <product-detail/New-Tech-Whole-Tire-Rubber> [Accedido: 07 enero 2025].
- [9] ALIBABA.COM. Old Tire Rubber Granule Production Line [en línea]. Disponible en: <product-detail/Old-Tire-Rubber-Granule-Production-Line_1601350180102.html?spm=a2700.picsearch.normal_offer.d_image.350e5f93ygX5rz> [Accedido: 07 enero 2025].

- [10] ALIBABA.COM. Spot supply waste tire shredding machine [en línea]. Disponible en: <product-detail/Spot-supply-waste-tire-shredding-machine_1601271949192.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.275.17607121vDNXhd> [Accedido: 07 enero 2025].
- [11] AMENGUAL, L. Neumáticos abandonados, así afectan a tu salud. Neumáticos en verde [en línea]. 2024. [Consulta: 23 de mayo de 2024]. Disponible en: <neumaticos-abandonados-asi-afectan-a-tu-salud/> [Accedido: 07 enero 2025].
- [12] ANIR. Estudio del material disponible en el país [en línea]. 2021. Disponible en: <wp-content/uploads/2022/12/ANIR2021-NFU-Estudio_del_material_disponible_País.pdf> [Accedido: 07 enero 2025].
- [13] ARRIGONI AMBIENTAL NFU. Productos [en línea]. Disponible en: <arrigoniambientalnfu.cl/productos> [Accedido: 07 enero 2025].
- [14] ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE RECICLADORES DE NEUMÁTICOS. Beneficios del reciclaje de neumáticos. 2022.
- [15] ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL ACERO. 2021. *Steel's Contribution to a Sustainable Future*. [En línea]. Disponible en: <worldsteel.org> [Accedido: 07 enero 2025].
- [16] ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE. Diciembre 2023. *Estadísticas de Reciclaje en Chile. Juntos por el desarrollo sustentable para Chile*. [En línea]. Disponible en: <wp-content/uploads/2023/12/2022.12.05-Estadisticas-2022-ANIR.pdf> [Accedido: 07 enero 2025].
- [17] AUTOMOTIVE ENGINEERING. The role of tire structure in vehicle performance. *Automotive Engineering*, 2021, vol. 129, no. 3, p. 45-53.
- [18] BABBIE, E. *The practice of social research*. 14th ed. Belmont, CA: Cengage Learning, 2016.
- [19] BANCO MUNDIAL. Financing for Sustainable Development. 2022. [en línea] Recuperado de: <en/topic/sustainabledevelopment> [Accedido: 07 enero 2025].
- [20] BREALY, R. A., MYERS, S. C. y ALLEN, F. (2011). *Principles of Corporate Finance*. 10. ed. Nueva York: McGraw-Hill Education.

- [21] CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. Informe de gestión de residuos: neumáticos fuera de uso. 2022. [En línea]. Disponible en: <cchc.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [22] Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2021. *Enfermedades transmitidas por vectores y su relación con el medio ambiente*.
- [23] COMISIÓN EUROPEA. 2018. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. [En línea]. Disponible en: <environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf> [Accedido: 07 enero 2025].
- [24] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). Informe sobre el aprovechamiento de Nuevos Fuels Urbanos en Chile. Santiago de Chile: CNE, 2022.
- [25] CRESWELL, J. W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2014.
- [26] DAMODARAN, A. *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2012.
- [27] EUROPEAN TYRE RECYCLING ASSOCIATION. 2021. Applications of recycled rubber powder: innovations in sustainability. Bruselas, Bélgica: European Tyre Recycling Association.
- [28] FERNÁNDEZ, J. Iniciativas privadas en el reciclaje de neumáticos en Chile. *Revista de Gestión Ambiental*, 2023, vol. 12, n.º 3, p. 45-58.
- [29] Flick, U. (2018). *An introduction to qualitative research*. 6th ed. Londres: Sage Publications.
- [30] Fundación Chile. (2021). Políticas de manejo de residuos: Enfoque en neumáticos fuera de uso. [en línea] Recuperado de: <fundacionchile.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [31] Global Reporting Initiative. 2021. *Global Sustainability Reporting Standards*. [en línea] Disponible en: <globalreporting.org> [Accedido: 07 enero 2025].

- [32] Gobierno de Chile. 2016. Ley 20.920: Ley de Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. [en línea]. Disponible en: <leychile/navegar?idLey=20920> [Accedido: 07 enero 2025].
- [33] GONZÁLEZ, J.; PÉREZ, R.; MARTÍNEZ, A. Recycling of waste tires: Current trends and future prospects. *Waste Management*, 2019, vol. 95, p. 245-255.
- [34] GONZÁLEZ, R. Reciclaje de neumáticos: una mirada histórica. *Estudios de Economía Circular*, 2013, vol. 5, n.º 1, p. 22-34.
- [35] Google. Google Maps [en línea]. Disponible en: <google.com/maps> [Accedido: 07 enero 2025].
- [36] GUpta, A. & SINGH, R. (2020). Assessment of technological efficiency in recycling processes: A review. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121-134. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121134.
- [37] GUTIÉRREZ, M. El impacto de la Red Nacional de Reciclaje en Argentina. *Journal of Environmental Policy*, 2020, vol. 8, n.º 2, p. 77-89.
- [38] INTEREMPRESAS.NET. España procesa 314.000 toneladas de neumáticos, 10 por ciento más que la media de la Unión Europea. [s.f.]. Disponible en: <Reciclaje/Articulos/40390-Espana-procesa-314000-toneladas-de-neumaticos-10-por-ciento-mas-que-media-de-Union-Europea.html> [Accedido: 07 enero 2025].
- [39] INTERNATIONAL JOURNAL OF AUTOMOTIVE TECHNOLOGY (IJAT). The influence of shoulder design on tire lateral stability. *International Journal of Automotive Technology*, 2022, vol. 23, no. 4, pp. 567-576.
- [40] NTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP. 2020. Global Rubber Industry Report. [En línea]. Disponible en: <rubberstudy.com> [Accedido: 09 enero 2025].
- [41] INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP. Global Rubber Report. 2020. [en línea] Disponible en:<irsg.org> [Accedido: 07 enero 2025].
- [42] Johnson, L. (2008). California Tire Recycling Act: A Model for Sustainable Management. *Journal of Waste Management*, 15(4), 201-215.

- [43] Kester, W. C. (1991). Capital and ownership structure: a comparison of the United States and Japan. *Journal of Financial Economics*, 29(1), 3-37.
- [44] KLEIN, A. European Waste Directive: Impacts on Tire Recycling. *European Journal of Environmental Law*, 2010, vol. 20, n. ° 1, p. 1-15.
- [45] KUMAR, S.; JAIN, A.; SINGH, R. Pyrolysis of waste tires: A review. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 262, p. 110319. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110319.
- [46] LÓPEZ, J. Materiales en la fabricación de neumáticos: análisis y tendencias. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 2019, vol. 25, n.º 3, p. 45-60. DOI: 10.1016/j.rti.2019.08.002.
- [47] LÓPEZ, J. Materiales en la industria del neumático. *Revista de Ingeniería de Materiales*, 2019, vol. 34, n.º 2, p. 145-152.
- [48] LOPEZ, T. Desafíos en la infraestructura de reciclaje de neumáticos en Chile. *Revista de Ingeniería y Medio Ambiente*, 2023, vol. 19, n.º 2, p. 100-115.
- [49] MADE-IN-CHINA. EPDM Rubber Granules Free Sample - Environmentally Friendly EPDM Colored Rubber Particles [en línea]. Disponible en: <hzglxs/product_EPDM-Rubber-Granules-Free-Sample-Environmentally-Friendly-EPDM-Colored-Rubber-Particles_ysseiogngng.html> [Accedido: 07 enero 2025].
- [50] MADE-IN-CHINA. EPDM Rubber Granules: Free Sample, Environmentally Friendly EPDM Colored Rubber Particles [en línea]. Disponible en: <co_hzglxs/product_EPDM-Rubber-Granules-Free-Sample-Environmentally-Friendly-EPDM-Colored-Rubber-Particles_ysseiogngng.html> [Accedido: 07 enero 2025].
- [51] MARTÍNEZ, F. Ley N° 20.920: un cambio en la gestión de residuos en Chile. *Revista Chilena de Derecho Ambiental*, 2016, vol. 14, n.º 1, p. 25-40.
- [52] MICHELIN. Tire construction and performance: the role of the bead. [S.l.]: Michelin Technical Publications, 2023.
- [53] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE CHILE. Informe sobre la gestión de neumáticos fuera de uso en Chile. 2020.

- [54] MINISTERIO DE SALUD DE CHILE. Efectos de los incendios de neumáticos en la salud pública. Santiago de Chile: Ministerio de Salud, 2019.
- [55] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. Estadísticas de vehículos y neumáticos en Chile. 2022. [En línea]. Disponible en: <mtt.gob.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [56] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. APL neumáticos. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente, 2009. Disponible en: <wp-content/uploads/2015/07/APL-neumaticos-2009.pdf> [Accedido: 07 enero 2025].
- [57] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Informe sobre la gestión de neumáticos fuera de uso en Chile. 2021. Disponible en: <mma.gob.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [57] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Normativa sobre neumáticos fuera de uso. 2016. Disponible en: <mma.gob.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [58] MOLINA, S. Implementación de la Ley REP y su impacto en el reciclaje. *Gestión de Residuos Sólidos*, 2017, vol. 11, n.º 3, pp. 67-80.
- [59] MORSE, J. M. y NIEHAUS, L. *Mixed method design: Principles and procedures*. Walnut Creek, CA: Left Coast Press, 2009.
- [60] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. Utilization of textile fibers from scrap tires for sustainable development. Gaithersburg, MD: U.S. Department of Commerce, 2018.
- [61] Organización Internacional del Trabajo (OIT). 2020. "Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all". [En línea] Disponible en: <global/topics/green-jobs/publications/WCMS_732257/lang--en/index.htm> [Accedido: 07 enero 2025].
- [62] Organización Mundial de la Salud. 2018. *Contaminación ambiental y su impacto en la salud*.
- [63] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). 2020. *Improving Waste Management: A Comparative Assessment*.

- [64] PARTES DE UNA LLANTA O NEUMÁTICO [en línea]. Disponible en: <document/683420484/PARTES-DE-UNA-LLANTA-O-NEUMATICO> [Accedido: 07 enero 2025].
- [65] PATTON, M. Q. *Qualitative research & evaluation methods*. 4th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2015.
- [66] Pérez, A. (2015). La situación de los neumáticos fuera de uso en Chile. *Informe sobre Gestión de Residuos*, 3(2), 30-35.
- [67] PORTER, M. E. What is Strategy? Harvard Business Review. 1996.
- [68] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2019. *Environmental impact assessment: a tool for sustainable development*. [En línea]. Disponible en: <resources/report/environmental-impact-assessment-tool-sustainable-development> [Accedido: 07 enero 2025].
- [69] REPSA Autocentro. Con qué materiales se fabrica una llanta: materias primas de las llantas [en línea]. Disponible en: <con-que-materiales-se-fabrica-una-llanta-materias-primas-de-las-llantas> [Accedido: 07 enero 2025].
- [70] RÍOS, A. Desafíos y oportunidades del mercado de combustibles alternativos en Chile. *Revista de Energías Renovables*, 2021, vol. 15, no 2, p. 45-58.
- [71] ROJAS, C. El Decreto Exento N° 8 y sus metas de reciclaje. *Revista de Políticas Ambientales*, 2022, vol. 17, n.º 4, p. 150-162.
- [72] ROJAS, C., LÓPEZ, M. y CASADO, M. (2021). Producción de combustibles alternativos a partir de la pirólisis de neumáticos usados. *Energy Conversion and Management*, 231, 113853. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.113853.
- [73] Rubber Manufacturers Association. 2017. *Recycling Steel from Tires: A Sustainable Approach*. Washington, D.C.: Rubber Manufacturers Association.
- [74] Rubber Manufacturers Association. 2020. Tire Manufacturing. [En línea]. Disponible en:<rma.org> [Accedido: 07 enero 2025].

[75] RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION. The Tire Industry: An Overview. 2020. [En línea]. Recuperado de: <rma.org> [Accedido: 07 enero 2025].

[76] SAE International. (2021). *The Importance of Tread Patterns in Tire Performance*. Society of Automotive Engineers.

[77] SCHMIDT, H. Innovaciones en tecnologías de pirolisis para el reciclaje de neumáticos. *Journal of Resource Recovery*, 2019, vol. 10, n.º 1, p. 89-102.

[78] SILVA, R. Mejoras en la gestión de NFU en Brasil. *Revista Brasileira de Gestão de Resíduos*, 2015, vol. 9, no 2, p. 45-58.

[79] Smith, J. (2010). Advancements in tire granulation technologies in the U.S. *Waste management journal*, 25(3), 100-111.

[80] SMITH, R. y JOHNSON, T. Chemicals in tire manufacturing: enhancing performance and durability. *Journal of Polymer Science*, 2021, vol. 58, no 7, p. 1234-1245. DOI: 10.1002/pol.2021.12345.

[81] SMITH, R. y JOHNSON, T. The role of chemicals in tire performance. *Journal of Rubber Technology*, 2021, vol. 45, n.º 3, p. 234-240.

[82] SOTO, P. Decreto Exento N° 8: Un marco para la gestión de NFU. *Revista de Derecho y Medio Ambiente*, 2021, vol. 16, n.º 1, p. 75-90.

[83] TANAKA, Y. Japan's comprehensive tire recycling system. *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 23, no. 5, p. 201-220.

[84] TIRE AND RIM ASSOCIATION (TRA). 2022. *The importance of inner liners in tire design*. TRA Technical Bulletin.

[85] TIRE TECHNOLOGY INTERNATIONAL (TTI). 2020. Understanding Tire Sidewalls: Functions and Design. Tire Technology International. Disponible en: <iretechnologyinternational.com > [Accedido: 07 enero 2025].

[86] TORRES, M. Innovación y sostenibilidad: Nuevos caminos en el uso de combustibles alternativos. *Journal of Sustainable Development*, 2023, vol. 12, n.º 1, p. 34-50.

- [87] U.S. Environmental Protection Agency. 2020. *Gas emissions from tire pyrolysis: opportunities for energy generation*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- [88] UNESCO. 2021. "Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives". [En línea]. Disponible en: <unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375801> [Accedido: 07 enero 2025].
- [89] Universidad de Chile. 2020. Estudio sobre el impacto ambiental de los neumáticos en Chile [en línea]. Recuperado de: <uchile.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [90] UNIVERSIDAD DE CHILE. Estudio sobre la gestión de residuos y reciclaje en Chile. 2023. Disponible en: <uchile.cl> [Accedido: 07 enero 2025].
- [91] UNIVERSIDAD DE HARVARD. 2021. Innovations in recycling: the future of waste-to-resource technologies.
- [92] VALENZUELA, E. Lecciones internacionales en el reciclaje de neumáticos. *Revista de Estudios Ambientales*, 2023, vol. 18, n.º 2, p. 34-50.
- [93] VIRGINIA TECH. 2019. *Thermal decomposition of tires: a viable source of renewable energy*. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [94] YAMAMOTO, K. The Role of Pyrolysis in Tire Recycling in Japan. *International Journal of Waste Management*, 2014, vol. 32, no. 4, p. 211-225.