



FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
ESCUELA DE PREVENCION DE RIESGOS Y
MEDIOAMBIENTE

**“EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE
USO, EN LA REGIÓN DE COQUIMBO”**

Tesis para optar al Grado de Magíster en Gestión Ambiental

MARÍA ALEJANDRA LEYTON BURCHARD

Profesor Guía: José Bakit San Martín

COQUIMBO, AGOSTO 2017

CONTENIDO

RESUMEN.....	7
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 Contextualización	9
1.2 Estructura del Proyecto.....	10
1.3 Alcance Ambiental	11
1.3.1 Los Neumáticos	11
1.3.2 Impacto Ambiental de los NFU	14
1.3.2.1 La gestión de residuos asociada a la generación de NFU	15
1.3.3 Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP)	18
1.3.4 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso	19
2 OBJETIVO.....	22
2.1 Objetivo General.....	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3 METODOLOGÍA	23
3.1 Estudio de mercado.....	23
3.2 Estudio Técnico	23
3.3 Estudio Financiero	24
3.4 Evaluación económica	24
4 RESULTADOS.....	26
4.1 Estudio de mercado.....	26
4.1.1 Definición del producto	26
4.1.2 Análisis de la demanda	26
4.1.2.1 Pronósticos de la Demanda	27
4.1.3 Análisis de la oferta	33
4.1.4 Análisis de la comercialización	35
4.1.4.1 Características del producto/servicio	35
4.2 Estudio Técnico	38
4.2.1 Localización óptima del proyecto.....	38

4.2.1.1	Macro localización	39
4.2.1.2	Micro localización	39
4.2.2	Ingeniería del Proyecto	36
4.2.2.1	Proceso de producción	36
4.2.2.2	Equipo y maquinaria	43
4.2.2.3	Recurso Humano	52
4.3	Estudio Financiero	53
4.3.1	Inversión requerida	53
4.3.1.1	Inversión en infraestructura y habilitación de Planta	53
4.3.1.2	Inversión en terreno	54
4.3.1.3	Inversión en equipamiento administrativo	54
4.3.1.4	Inversión en equipamiento y maquinaria	54
4.3.1.5	Capital de trabajo	55
4.3.2	Costos fijos y variables	56
4.3.2.1	Costos fijos	56
4.3.2.2	Costos Variables	58
4.3.3	Ingresos	58
4.4	Evaluación económica	61
4.4.1	Viabilidad del proyecto	61
4.4.2	Análisis de Sensibilidad	62
5	DISCUSIÓN.....	64
6	CONCLUSIONES	66
7	REFERENCIAS	68
8	ANEXOS.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los Neumáticos.....	13
Tabla 2. Cantidad de Neumáticos Reciclados en Chile, Miles de toneladas al año.....	18
Tabla 3. Ejemplos de valorización material de los NFU..	20
Tabla 4. Proyección de la generación de NFU en La Serena y Coquimbo hasta 2026....	29
Tabla 5. Proyección de importaciones de polvo de caucho.	32
Tabla 6. Granulometría del caucho según producto final..	37
Tabla 7. Criterios de evaluación para la localización.	39
Tabla 8. Resultado de la Micro localización.	42
Tabla 9. Características del proceso de pre-trituración.....	39
Tabla 10. Características del proceso de granulado.	40
Tabla 11. Características del proceso de molienda.	42
Tabla 12. Características técnicas de la Trituradora.	43
Tabla 13. Características técnicas de la Cinta Transportadora.	44
Tabla 14. Características técnicas de la Criba de Disco.....	44
Tabla 15. Características técnicas del Sistema de retorno.	45
Tabla 16. Características técnicas de la Cinta transportadora de evacuación.	45
Tabla 17. Características técnicas del Panel de control.	45
Tabla 18. Características técnicas del Granulador 1.	46
Tabla 19. Características técnicas del Granulador 2.	46
Tabla 20. Características técnicas del Separador magnético.	47
Tabla 21. Características técnicas del Sistema de extracción de polvo.	47
Tabla 22. Características técnicas de la Cribadora plana.....	48
Tabla 23. Características técnicas del Molino cortador.	49
Tabla 24. Características técnicas del Silo de recepción.....	49
Tabla 25. Características técnicas del Separador magnético de tambor.	49
Tabla 26. Características técnicas de la Cribadora plana de Molienda.	50
Tabla 27. Características técnicas de los Tornillos transportadores.	50
Tabla 28. Características técnicas del proceso de Separación de textiles.	50

Tabla 29. Recurso Humano propuesto para la operación y administración de la planta.	53
Tabla 30. Inversión en infraestructura.	54
Tabla 31. Inversión en terreno.	54
Tabla 32. Inversión en equipamiento administrativo.	54
Tabla 33. Inversión en equipamiento y maquinaria:	55
Tabla 34. Remuneraciones y provisiones.	55
Tabla 35. Consumo energético de la planta.	56
Tabla 36. Costos anuales por Servicios Básicos.	57
Tabla 37. Gastos destinados para mantención.	57
Tabla 38. Costo en energía eléctrica.	58
Tabla 39. Ingresos por almacenamiento de neumáticos de vehículos livianos y de carga.	59
Tabla 40. Ingresos netos por almacenamiento de NFU de Minera:	59
Tabla 41. Ingresos por venta de caucho granulado.	60
Tabla 42. Ingresos anuales en M\$ por servicio de almacenamiento y venta de caucho granulado.	61
Tabla 43. Análisis de sensibilidad de la primera variable.	62
Tabla 44. Análisis de sensibilidad de la segunda variable.	62
Tabla 45. Análisis de sensibilidad de la tercera variable.	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de los neumáticos.	13
Figura 2. Estructura de los neumáticos.	14
Figura 3. Disposición de NFU en algunos lugares de la Conurbación.	17
Figura 4. Distribución de fabricantes de productos de caucho por regiones.	31
Figura 5. Foto satelital Zona 1.	40
Figura 6. Foto satelital de Zona 2.	41
Figura 7. Foto satelital Zona 3.	41
Figura 8. Diagrama de flujo del Proceso.....	37
Figura 9. Proceso productivo del reciclaje de caucho por molienda mecánica.	38
Figura 10. Cortadora rotativa..	39
Figura 11. Material resultante después del proceso de pre-triturado..	40
Figura 12. Material post proceso de granulación.	41
Figura 13. Material post proceso de molienda.	43
Figura 14. Referencia de planta recicladora de neumáticos.....	51
Figura 15. Propuesta de Layout de la planta.	52

RESUMEN

Los neumáticos están fabricados para ser muy resistentes a condiciones mecánicas y meteorológicas duras ya que no son degradables y, además, presentan una alta capacidad calorífica, por lo que generan mayor cantidad de energía en un incendio y su extinción se hace muy complicada.

Para su retiro o eliminación estos son quemados, lo que causa emisiones a la atmósfera de humos pesados con partículas contaminadas; son enterrados, lo que puede generar peligro de contaminación de acuíferos; o son almacenados y en este caso las montañas de neumáticos son fuente de proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos. Según un estudio de la Universidad de Quebec, Canadá, ciertos mosquitos que transmiten fiebres y encefalitis por picaduras se reproducen 4.000 veces más rápido en el agua estancada en caucho que en su entorno natural.

En Chile sólo existe un sitio público autorizado para el acopio de estos neumáticos fuera de uso y está ubicado en la Región Metropolitana, lo que hace muy poco viable su traslado desde regiones, obligando al acopio en sitios no acondicionados para tal efecto.

Por otro lado, existe la salvedad de que los neumáticos fuera de uso se pueden utilizar enteros, como barreras acústicas o tejados; triturados, como aislamiento térmico, pistas deportivas y losetas de parques infantiles o campos de hierba artificial; o como componentes de otros materiales, como mezclas bituminosas.

Para lo anterior los neumáticos pueden pasar por diferentes procesos de reciclado, pero existe uno en que los productos resultantes son de alta calidad y limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. Se trata de la trituración mecánica.

En Chile sólo existe una planta que realiza este tipo de tratamiento y también está ubicada

en la Región Metropolitana.

El presente proyecto trata de evaluar la prefactibilidad de instalar una planta en la Región de Coquimbo que permita, por un lado, el almacenamiento adecuado de los neumáticos fuera de uso (servicio) y, por otro, produzca caucho granulado, insumo para la fabricación de nuevos productos (producto).

Para tal efecto, se ha realizado, en primer lugar, un estudio de mercado, en el que se define la demanda, la oferta y el precio de cobro, tanto para el servicio como para el producto propuestos. Además, se ha definido la localización más óptima para la planta en la conurbación La Serena – Coquimbo, y el proceso de transformación, a través de un estudio técnico. Lo anterior ha permitido, finalmente, evaluar financiera y económicamente el proyecto, lo que ha arrojado resultados auspiciosos para el desarrollo de esta propuesta.

Es así, entonces, como el proyecto contribuiría a su principal propósito, que es el de solucionar un problema medioambiental descongestionando los vertederos clandestinos, los acopios en vulcanizaciones, talleres, terrenos particulares en general, carreteras y caminos, y, consecuentemente, a la generación de más industrias complementarias al tratamiento, lo que implicaría, además del crecimiento económico de la industria, un gran aporte a la sustentabilidad social de la Región.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Contextualización

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para eliminarlos, una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Las empresas fabricantes de neumáticos muestran poco interés en la recuperación, ya que la goma que se puede obtener de las cubiertas gastadas es poca y de calidad inferior y, además, para la industria es más barato recurrir a materia prima virgen por sobre la reciclada. Entonces, para eliminarlos, se usa la quema directa lo que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno, aunque no es menos problemático que el almacenamiento, ya que provoca problemas de estabilidad por la degradación química parcial que éstos sufren y problemas de seguridad en el recinto de almacenamiento. Las montañas de neumáticos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos constituyen un problema añadido. En los vertederos los neumáticos absorben los gases emitidos por la descomposición de los residuos lo que origina un ambiente inestable y potencialmente dañino, además, de que su proceso de descomposición es sumamente lento, por lo que se les considera materiales no biodegradables y su elevada elasticidad impide su compactación. Los neumáticos fuera de uso (NFU) son residuos que no se consideraban peligrosos porque son inertes y no tóxicos, pero no son biodegradables (una rueda puede tardar más de 100 años en descomponerse).

Este panorama se espera que cambie en nuestro territorio, ya que actualmente Chile cuenta con una nueva Ley con la que se pretende disminuir la generación de residuos en el país e incrementar las tasas de valorización de éstos incorporando nuevos instrumentos de gestión ambiental, Ley N° 20.920 de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP).

Esta iniciativa legal busca formalizar una industria del reciclaje en Chile, responsabilizando a fabricantes e importadores de organizar y financiar la recuperación de los residuos generados por sus productos. En lo esencial, obliga a

fabricantes e importadores de seis productos prioritarios a recuperar un porcentaje de éstos, una vez que terminan su vida útil, es decir, cuando se transforman en residuos.

Un estudio de pre-factibilidad para el diseño de una planta recicladora de estos desechos en nuestra región, permitirá contar con información sobre el proyecto a realizar, mostrando las alternativas que se tienen y las condiciones que rodean el reciclaje de neumáticos fuera de uso que se generan en la zona, aportando de esta forma a disminuir la acumulación de estos desechos en vertederos clandestinos y a la sociedad mediante la generación de empleo directo e indirecto.

Para efectos del presente proyecto, el estudio se realizará en base a la obtención de **caucho granulado**, insumo utilizado para la elaboración de diferentes productos.

1.2 Estructura del Proyecto

Se ha estructurado el proyecto de tal manera que se pueda entender el razonamiento y principalmente la motivación para su desarrollo hasta llegar a las conclusiones obtenidas.

Es por eso que, el siguiente apartado contextualiza el alcance ambiental de este trabajo y que es la base de la motivación de su génesis. Este apartado está desarrollado para conocer la producción, composición, potencial de recuperación de las materias secundarias y el análisis del ciclo de vida de los neumáticos.

A partir de la contextualización resultante del presente capítulo, en el capítulo dos se exponen el objetivo principal y los objetivos específicos que serán la base del posterior desarrollo del trabajo.

En el tercer capítulo se presenta el desarrollo sistemático de la metodología escogida que permitirá obtener los resultados necesarios para presentar en la discusión final.

Finalmente, y a partir de los resultados obtenidos, el último capítulo refleja las conclusiones a las que se han llegado después de desarrollar el estudio.

1.3 Alcance Ambiental

1.3.1 Los Neumáticos

La fabricación de neumáticos es un proceso complejo que engloba el consumo de materias primas procedentes de fuentes no renovables, caucho sintético, acero, agua y elevadas cantidades de energía en su fabricación. En el proceso productivo se generan elevadas cantidades de emisiones y afecciones al entorno que requieren fuertes inversiones en medidas preventivas y correctoras.

Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo. En la actualidad, la mayoría de los neumáticos de vehículos de pasajeros, así como los de transporte, son radiales, por lo que están compuestos de una banda de rodamiento elástica, una cintura prácticamente inextensible y una estructura de arcos radialmente orientada, sobre una membrana inflada y sobre unos aros también inextensibles que sirven de enganche a otro elemento rígido, que es la llanta. También existe otro tipo de neumáticos llamados diagonales, utilizados principalmente en camiones. La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho: casi la mitad de su peso. La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo. Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al

que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira. El caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30% del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos, todos basados en hidrocarburos. Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son: Cauchos naturales (NR) Polibutadienos (BR) Estireno – Butadieno (SBR) Polisoprenos sintéticos (IR) La matriz de caucho más utilizada es el copolímero estireno-butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25% en peso de estireno, o una mezcla de caucho natural y SBR. Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común: todos, una vez vulcanizados, pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación.

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la consistencia del caucho, antes de la vulcanización; óxido de Zinc y de Magnesio, comúnmente denominados activadores, pues son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de horas a minutos; antioxidantes, para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono; y finalmente negro de humo, especie de humo negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión. En forma general el neumático está compuesto por los siguientes componentes:

Tabla 1. Composición de los Neumáticos. Fuente: VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de pre factibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados.

Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	22	Estructural – Deformación
Negro de humo	22	2,1	Mejora oxidación
Óxido de Zinc	1,2	0	Catalizador
Material textil	5		Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

¿Cómo es un neumático?



Figura 1. Composición de los neumáticos. Fuente: TNU, 2014

Estructura

Banda rodadura: mezclas de gomas adherentes resistentes a la abrasión.

Cinturones: cables de acero.

Carcasa: caucho y cables textiles.

Talón de acero que ajusta la llanta.

Revestimiento interior de caucho sintético. Espacio estanco para la cámara.

Flanco goma: protege de choques que pueden dañar la carcasa y asegura la unión con la llanta.

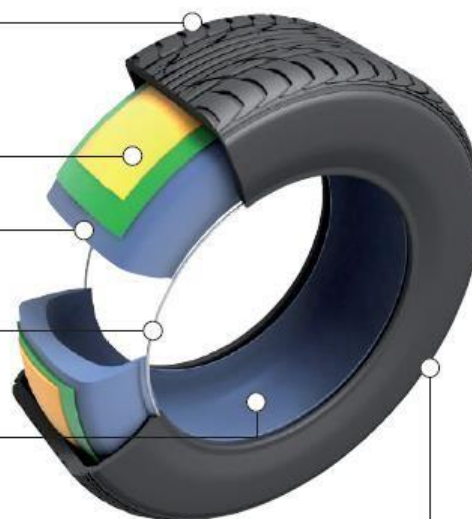


Figura 2. Estructura de los neumáticos. Fuente: TNU, 2014

1.3.2 Impacto Ambiental de los NFU

Al momento del desgaste de un neumático, generalmente se efectúa su recambio, no obstante, en caso de los vehículos de carga y transporte público es común hacer un recauchaje de los neumáticos, lo que permite una prolongación de su vida útil y su uso por un período mayor. En este caso, recién después de su reuso se generan los residuos, denominados a continuación neumáticos fuera de uso (NFU).

Como ya se mencionó, los NFU se clasifican como un residuo no peligroso, y en general presentan un bajo impacto. Sin embargo, existen potenciales riesgos y daños por su gestión inadecuada, de acuerdo a lo indicado en el Informe de Evaluación de Impactos Económicos, Ambientales y Sociales de la Implementación de la Ley REP, de la Corporación Nacional de Medio Ambiente, del año 2010, entre los que se cuentan:

- Los NFU son residuos voluminosos. Su forma e impermeabilidad les permite actuar

como un depósito, captando y acumulando agua, creando un ambiente propicio para la reproducción de mosquitos y roedores. Los mosquitos a menudo son transmisores de enfermedades, tales como malaria, fiebre amarilla y dengue, lo que sustenta la resolución de Salud de no permitir el ingreso a Chile de NFU.

- Puede existir una potencial lixiviación de metales por exposición a suelos ácidos, en caso de acopios de los NFU.
- Los acopios o depósitos de neumáticos, que generalmente corresponden a lugares no controlados en la zona rural, atraen además la disposición de otros tipos de residuos, formándose microbasurales o basurales clandestinos.
- La quema ilegal de neumáticos, por combustión incontrolada tiende a producir cantidades importantes de hidrocarburos (negro de humo espeso) y emisiones nocivas para la atmósfera y la calidad del aire, entre ellas dioxinas y furanos.

El impacto global de todas las etapas consideradas sobre el componente emisiones de CO₂ resulta en la generación de cerca de 64,8 ton de CO₂ para 1 tonelada de neumáticos de auto y 60,4 ton de CO₂ para 1 tonelada de neumáticos de vehículos de carga. En tanto, el impacto global del ciclo de vida considerado en el estudio, sobre el componente energía, resulta en un consumo neto cercano a 920 GJ para una tonelada de neumáticos de auto y 820 GJ para una tonelada de neumáticos de vehículos de carga.

En forma comparativa, la combustión de una tonelada de petróleo diesel genera 46 GJ/ton y genera 3.220 kg CO₂/ton, por lo que el impacto del ciclo de vida sería equivalente a quemar entre 20 a 22 ton de diesel en función de la energía consumida y el CO₂ generado.

1.3.2.1 La gestión de residuos asociada a la generación de NFU

Generalmente, el recambio de los neumáticos se efectúa en talleres especializados (sean externos o propios, por ejemplo de una empresa de transporte), abandonando en ellos los NFU. Justamente los talleres serían un punto crítico del ciclo de vida del producto, dado que la gran mayoría (85% aprox.) de los NFU van a destinos desconocidos.

Como los NFU prácticamente no tienen un valor comercial, éstos son simplemente acopiados o entregados (en algunos casos contra un pago) para deshacerse de ellos, terminando en grandes acopios, vertederos ilegales de residuos sólidos (VIRS) o microbasurales. Especialmente los servicios públicos mantienen grandes acopios o bodegajes de NFU, por ejemplo en instalaciones municipales y recintos militares. También se registran quemas de NFU contra las heladas en la agricultura.

De acuerdo a la información recopilada, en Chile sólo existe un sitio público autorizado para el acopio de estos NFU, que se ubica en la comuna de la Pintana.

Respecto al rol del sector informal, el recolector o reciclador primario no juega un rol importante en la gestión de estos residuos, dado el bajo valor comercial del NFU, su tamaño y su peso a transportar. No obstante, existe un mercado informal o semiformal relevante, relacionado con el transporte y la disposición final ilícita de los NFU, dada las grandes cantidades de NFU que se recogen desde acopios de empresas o servicios públicos, desarmaduras, talleres mecánicos y vulcanizaciones.

En lo que respecta a la situación regional, no existen datos claros de parte de las instituciones públicas de la ubicación y capacidad de estos lugares de acopio. En un análisis en terreno se levantaron datos que permitieran un reconocimiento parcial de la situación, acotándolo a las comunas de La Serena y Coquimbo, ya que éstas representan alrededor del 92% del parque vehicular de la Región (Ver figura 3). Este análisis permitió generar un insumo para el estudio de la oferta de lugares para la disposición final de estos residuos, como se verá en el punto 4.1.3.



Figura 3. Disposición de NFU en algunos lugares de la Conurbación. Fuente: Elaboración propia

De este pequeño análisis se pudo concluir tempranamente que existe un mercado relevante relacionado con el transporte (mediante camiones) y la disposición final ilícita de los NFU. Además, no existe una fiscalización de parte de la autoridad en relación a esta parte del ciclo de vida de los NFU.

El panorama a nivel nacional de los neumáticos, según la presentación que realizó Bridgestone en el seminario “La Próxima Meta de la REP”, las marcas más conocidas de neumáticos, Bridgestone, Michelin, Goodyear, Continental, Pirelli, Sumitomo, Hankook y Yokohama se llevan el 60% del mercado del neumático. Con este dato la tabla 2 siguiente muestra la generación de NFU y la cantidad de reciclaje.

Tabla 2. Cantidad de Neumáticos Reciclados en Chile, Miles de toneladas al año. Fuente: <http://www.asipla.cl>

Tipo de Neumático	Generación NFU	Reciclaje
Agrícola Forestal e	5,3	Sin Información
Auto y Camioneta	32,5	8,1%
Camión y Bus	44,6	
Minería y Construcción	53,8	Sin Información
Otros	1,3	
Total	137,6	4,6%

El análisis que se desprende es que existe un 95,4% de NFU sin reciclar a nivel nacional. Esta no es una cifra menor, debido a lo estipulado en la Ley REP en relación a la obligación que tendrán los productores de eliminar o dar un lugar adecuado para la disposición final de estos residuos.

1.3.3 Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP)

En Chile, se encuentra en marcha blanca la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) mediante una Ley General de Residuos y reglamentos específicos para productos prioritarios, obligando a los productores (que incluyen tanto fabricantes como importadores) a hacerse cargo de los residuos derivados de sus productos al término de su vida útil. Estos productos son:

- Neumáticos fuera de uso (NFU)
- Aceites y lubricantes usados (ALU)
- Baterías fuera de uso (BFU)
- Residuos electrónicos (RE), específicamente equipos de informática y celulares.

El concepto REP es un principio de política ambiental que promueve el mejoramiento del ciclo de vida de los productos, por medio de la extensión de las responsabilidades del

productor en varias etapas de dicho ciclo, especialmente en la devolución, recuperación y valorización del producto.

Durante las últimas dos décadas se han implementado sistemas de gestión de residuos basados en la REP en varios países, generalmente mediante un marco regulatorio que asigna a los productores la responsabilidad sobre un producto al final de su vida útil.

Este concepto es especialmente aplicable a los productos de consumo masivo, tales como equipos electrónicos; envases y embalajes; neumáticos; baterías; pilas y aceites. La discusión en torno al tema se resume en el principio “quien contamina paga”, convirtiendo el productor en responsable de asumir las consecuencias del desempeño de sus productos.

Con la Ley REP, se tiene un gran potencial para desarrollar proyectos innovadores en todo el ciclo de vida de los NFU -fabricación, consumo y reciclado- que permitirán generar ahorros en sus costos y disminuir radicalmente las cargas contaminantes al medio ambiente.

En el Anexo 1, se describe el estudio preliminar que realizó el Gobierno en el año 2011 para evaluar la implementación de la Ley REP y los impactos asociados a ella.

1.3.4 Aplicaciones de los neumáticos fuera de uso

Se intenta dar valor al neumático que ya está fuera de uso mediante la recuperación de sus materiales. Este nuevo uso se elabora con el neumático entero o después de un proceso de granulación o trituración del mismo. Para la valorización material de los NFU se han identificado aplicaciones como la utilización de neumáticos enteros en taludes y la utilización de neumáticos triturados en otras aplicaciones que hacen su aportación a la valorización material (Ver tabla 3).

Tabla 3. Ejemplos de valorización material de los NFU. Fuente: Elaboración propia.

	<p>Los neumáticos no aptos sin ser troceados, tienen diferentes aplicaciones en obra civil: relleno de taludes, terraplenes, etc.</p>
	<p>La goma, una vez triturada, cumple perfectamente para la creación de superficies para campos de juego y atletismo.</p>
	<p>Para campos de fútbol, golf, tenis, etc.</p>
	<p>El neumático, después de su correcto tratamiento es usado como losetas de seguridad en parques de juego, geriátricos, etc.</p>
	<p>El acero extraído de las carcasas es de gran calidad para la industria siderúrgica.</p>
	<p>El asfalto con base de goma de neumático es uno de los hitos del reciclaje, minúsculas partículas de goma se mezclan con él para dar mejores propiedades, entre las que destaca, la adherencia y la disminución de sonoridad.</p>
	<p>El caucho regenerado, utilizado en un porcentaje, permite la creación de gomas de cualquier tipo de formulación.</p>
	<p>El sector de la construcción es otro de los pilares en los que se apoya el reciclaje de los neumáticos, con la creación de compuestos que amortiguan los sonidos.</p>



Con polvo de caucho de 0,7mm, se fabrican forros de freno de camión.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo General

Evaluar técnica y económicamente la habilitación de un espacio de almacenamiento para los NFU y la instalación de una Planta de Tratamiento para la obtención de caucho granulado en la Región de Coquimbo.

2.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un estudio de mercado a nivel nacional sobre la disposición final del residuo NFU y sobre los productos elaborados a través del caucho granulado reciclado.
2. Proponer un proceso para el tratamiento de los NFU, mediante la instalación y operación de una planta en la Región de Coquimbo.
3. Evaluar, a través de un Plan Financiero, la rentabilidad económica para la instalación y operación de la planta.

3 METODOLOGÍA

3.1 Estudio de mercado

Para evaluar el mercado, por una parte, se estudió a nivel regional la cantidad proyectada de NFU que no contarían con un lugar formal para su disposición final y, por otro lado, se estudió a nivel nacional sobre los productos elaborados a través del caucho granulado obtenido a partir del tratamiento de los neumáticos fuera de uso. En general, se determinó y cuantificó la demanda y oferta, proyectando ambos en un periodo de tiempo que no superara los 10 años; el análisis de los precios, a partir del mercado actual, y el estudio de la comercialización.

Fue necesario, para comenzar el estudio, definir el servicio y producto que entregará el proyecto; establecer las proyecciones, así como las diferencias para que el desarrollo de los siguientes puntos.

3.2 Estudio Técnico

El estudio técnico permitió cumplir con el objetivo 2 de proponer el proceso para el tratamiento de los NFU y evaluar la factibilidad técnica para la instalación y operación de una planta en la Región de Coquimbo.

Para comenzar se analizó cuál sería la localización óptima para la planta dentro de la Conurbación La Serena – Coquimbo, eligiendo tres sectores industriales en los que sería factible instalar la planta de tratamiento. Para la selección final se ponderaron algunos factores condicionantes para el éxito del proyecto y de acuerdo al puntaje obtenido, fue seleccionada la zona más destacada.

Para determinar el proceso de producción se hizo una investigación de las necesidades de equipos y maquinaria en el mercado para estos trabajos específicos, a través de la web,

para finalmente determinar el proceso óptimo para el nivel de producción que se requiere en este proyecto, así como las inversiones requeridas; en base a lo anterior, finalmente, se realizó el estudio de los requerimientos del personal que opere.

3.3 Estudio Financiero

El Estudio Financiero permitió evaluar la factibilidad económica para la instalación y operación de la planta, a partir del análisis de la inversión necesaria para operar la planta. De esto, la inversión en infraestructura y habilitación, inversión en terreno, inversión en equipamiento administrativo, inversión en equipamiento y maquinaria y sueldos, se obtuvieron a partir de cotizaciones solicitadas y valores proporcionados en internet. En relación al consumo energético, este lo proporcionó la página web del proveedor de la planta, así como los proveedores relacionados a los costos fijos y variables asociados a esta operación. La estipulación de ingresos por ventas de producto final y pago por servicio de almacenamiento se calcularon a partir de metodologías de proyección de la demanda con datos de precios consultados tanto a potenciales competidores, proveedores y consumidores.

Por tratarse de un estudio de prefactibilidad, el monto correspondiente al capital de trabajo se ha calculado a partir del método del ciclo productivo, es decir, considerando los costos de operación que se debe financiar hasta que se recauda el ingreso por la venta de los productos (sueldo, costos de consumo energético de la planta).

3.4 Evaluación económica

Se presentaron dos flujos de caja bajo dos escenarios distintos para analizar la viabilidad del proyecto: Proyecto Puro y Proyecto con Financiamiento. Se utilizó el método de Análisis de Sensibilidad para considerar el riesgo partir del efecto que tendría sobre el resultado de la evaluación cambios en uno de los valores estimados, como lo es la cantidad de caucho a producir. Para tal efecto se utilizó el método unidimensional de la

sensibilización, el que define a cada elemento del flujo de caja como el de más probable ocurrencia. Para que el proyecto siga siendo rentable, su VAN debe ser, a lo menos, igual a cero. Es decir:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FN_t}{(1+i)^t},$$

$$I_0 = \left[\sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+i)^t} - \frac{E_t}{(1+i)^t} - \frac{D_t}{(1+i)^t} \right] (1 - j) + \sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+i)^t}$$

Donde: I_0 = Inversión Inicial

I_t = Ingresos del proyecto en el periodo t

E_t = Egresos efectivos del proyecto en el periodo t

D_t = Depreciación en el periodo t

j = Tasa de impuesto a las utilidades

4 RESULTADOS

4.1 Estudio de mercado

4.1.1 Definición del producto

El proyecto determinó la viabilidad de la comercialización del caucho granulado desde la región de Coquimbo mediante una planta de reciclaje de neumáticos, partiendo con la premisa que actualmente no existe una planta que se dedique exclusivamente al reciclaje de este residuo. Además, se debe considerar la vigencia de la nueva ley de responsabilidad extendida del productor (REP), la cual obliga a empresas productoras (fabricantes e importadoras) de productos prioritarios a hacerse cargo de sus productos una vez terminada su vida útil. La ley especifica como uno de estos productos prioritarios los neumáticos.

En la descripción del neumático en la tabla 1, el porcentaje de caucho proveniente de neumáticos de automóviles es el 48% del peso total y el acero que poseen equivale al 15% del total, mientras que en los camiones el porcentaje de caucho baja a 22% del peso total, el del acero se incrementa a 25%, estos valores son primordiales ya que son altas las cantidades de material a reutilizar.

4.1.2 Análisis de la demanda

Se han definido dos tipos de clientes: aquellos que requieren de un lugar para disposición final de los NFU y aquellos que necesitan el caucho granulado como materia prima de sus productos.

Estos productos pueden ser:

- Engomado de caminos: se utilizan como carga para mejorar la adherencia de las

carreteras.

- Combustible: son utilizados como carburante en hornos cementeros.
- Centros deportivos: se usan como absorbedores de impacto en canchas deportivas sintéticas. Además permiten que el pasto sintético dure más por el efecto rodamiento.
- Materiales de caucho: el abanico de productos es infinito. Se usan para fabricar elementos delimitadores, baldosas flexibles, limitadores de velocidad, entre otros.

4.1.2.1 Pronósticos de la Demanda

a) **Potenciales clientes: Productores de neumáticos o generadores de NFU**

Por un lado, se consideraron como clientes potenciales del presente proyecto, los productores de neumáticos, dado que la necesidad del productor o de la entidad que le da uso al neumático hasta el fin de su vida útil, deberá crear un mecanismo de disposición final del mismo alineado con la normativa vigente, los acuerdos de producción limpia y los permisos otorgados por el Ministerio del Medio Ambiente.

Basado en la Ley de responsabilidad del productor y el acuerdo de producción limpia, se abrió paso a crear convenios, acuerdos y contratos en los cuales la disposición final de los residuos y el reciclaje tendrán un papel protagónico en los siguientes años.

Este modelo implica tener una planta de reciclaje de neumáticos en un lugar estratégico para que las empresas tengan acceso a dejar sus neumáticos fuera de uso en responsabilidad conjunta con el productor. A su vez, los vertederos ilegales son responsabilidad de los gobiernos locales, por lo que en acuerdo con las municipalidades se tendrán que establecer para recolectar tales neumáticos y procesarlos.

Una vez los neumáticos dispuestos en los patios de almacenaje de la planta recicladora,

éstos serán triturados, generando productos de gránulo de caucho reciclado y polvo de caucho reciclado.

El volumen de venta de neumáticos a nivel nacional ha tenido un aumento sostenido en los últimos años, que se asimila a la tasa de recambio de los mismos, es decir, el porcentaje desechado, y éstos se asocian al crecimiento del parque vehicular.

- **Neumáticos livianos y de carga**

Un estudio realizado para la CONAMA el año 2008 fue capaz de calcular los índices de producción de Neumáticos Fuera de Uso en el país que hacen alusión al número de neumáticos de carretera que se desechan dado su recambio. Estos se calcularon en base a la vida útil de los neumáticos por tipo de vehículo que son, para:

- Vehículos livianos: 0,8 por año.
- Vehículos de transporte público: 4 por año.
- Vehículos de carga: 4 por año.

El estudio también arrojó que sólo el 10% de las unidades de neumáticos de recambio son recauchadas para su reutilización.

Esta información y aquella proporcionada por el INE Región de Coquimbo, sobre los vehículos de carretera en circulación de las comunas de Coquimbo y La Serena, es posible generar un cálculo aproximado de los NFU, como se muestra en Anexo 2.

Haciendo una proyección para el próximo periodo, se muestra en la tabla 4:

Tabla 4. Proyección de la generación de NFU en La Serena y Coquimbo hasta 2026. Fuente: Elaboración propia, en base a información proporcionada por el INE Región de Coquimbo.

Período (1)	Unidades de NFU en La Serena y Coquimbo (2)	Accesibilidad al 15% (3)	Proyección NFU (ton) (4)
2015	492.321	73.848	
2016	520.715	78.107	
2017	549.109	82.366	
2018	577.504	86.625	7.449
2019	605.898	90.884	7.816
2020	634.292	95.143	8.182
2021	662.686	99.403	8.548
2022	691.081	103.662	8.914
2023	719.475	107.921	9.281
2024	747.869	112.180	9.647
2025	776.263	116.439	10.013
2026	804.658	120.698	10.380

Para un cálculo más objetivo, se ha incorporado en la tabla 4 la columna (3), que representa el 15% de los NFU que podrían solicitar un lugar de acopio formal para dar cumplimiento a la legislación, así la columna (4) representa los NFU expresada en toneladas.

- **Neumáticos de alto tonelaje**

Actualmente no existe en Chile una planta de reciclaje de neumáticos mineros funcionando de manera industrial y continua. Sí la hay para neumáticos convencionales y se trata de la planta de trituración mecánica de NFU ubicada en Lampa.

Los neumáticos utilizados en camiones de alto tonelaje como los de la minería no tienen un destino definido. Este tipo de empresas, por lo general, acondicionan en sus faenas un patio de salvataje donde se almacenan los NFU, tanto de los camiones de alto tonelaje, como los de transporte liviano perteneciente a la minera. Para mayor información se

acudió a Minera Teck Carmen de Andacollo.

Carmen de Andacollo es una operación minera de cobre a rajo abierto adyacente al pueblo de Andacollo, aproximadamente a 55 kilómetros al sudeste de La Serena. La mina está ubicada a 1.000 metros sobre el nivel del mar. Carmen de Andacollo produce cobre en concentrado de la porción hipógena del yacimiento. La producción de cátodos de la porción supérgena del yacimiento está próxima a su finalización.

De acuerdo a los datos recaudados, los NFU tienen un diámetro de 3mts. y son almacenados en un área de aproximadamente 6.700m² ocupada para este fin y donde quedan sin un destino determinado.

Durante el primer periodo de 2017, el promedio de la frecuencia con que se almacenaron estos NFU fue de 2,4 neumáticos por mes. Actualmente en el patio de salvataje se encuentran almacenados alrededor de 114 NFU de estas dimensiones. De acuerdo a una estimación hecha por la misma empresa, a partir de los consumos registrados y las bajas históricas, se espera que las unidades dadas de baja sean 40 unidades en promedio al año, lo que implican 4.200 ton de NFU para almacenar.

b) Potenciales clientes: Empresas de productos terminados

Por otro lado, se considera como potenciales clientes a empresas que creen productos terminados a partir de la materia prima generada por la planta distribuidos como indica la figura 4. Vale decir, empresas dedicadas a la comercialización de asfalto, baldosas de caucho, canchas de pasto sintético, protección para jardines infantiles, etc., que utilizan el caucho granulado como materia prima.

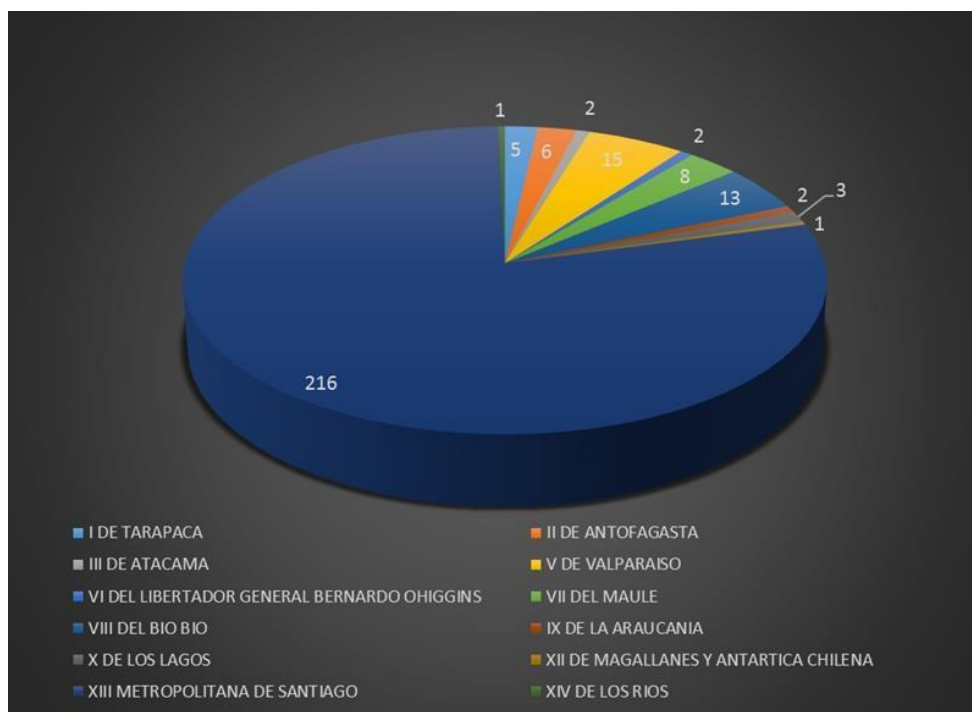


Figura 4. Distribución de fabricantes de productos de caucho por regiones. Fuente: Elaboración propia, en base a información del SII.

Como se puede observar en la figura anterior, la mayor cantidad de productores está concentrada en la Región Metropolitana, el 21% corresponde a productores de otras regiones del país y el 10% a productores de la zona norte. Ellos constituirían un mercado potencial para la demanda de nuestro producto.

El mercado de productos fabricados con caucho, ha tenido un crecimiento constante siendo, el año 2016, parte de una de las industrias que dio un impulso a la economía nacional con 11% de crecimiento anual (Ver Anexo 3).

La comercialización de caucho granulado reciclado es de un orden bastante bajo en nuestro país, debido a una falta de cultura de reciclaje, y en mayor medida a la no realización de estudios y desarrollos de plantas recicladoras en Chile. En la actualidad, el 80% del caucho granulado que se demanda en el mercado nacional, se obtiene de importaciones y el 20% de productores nacionales.

El poco conocimiento del uso de este producto y de las tecnologías existentes en el mercado para su obtención a partir del reciclaje, no han permitido el crecimiento de esta industria en el país.

Haciendo una proyección de las importaciones a partir de los últimos tres años, se obtienen valores como los indicados en la tabla 5:

Tabla 5. Proyección de importaciones de polvo de caucho. Fuente: Elaboración propia, a partir de información de la Agencia Nacional de Aduanas.

Periodo	Proyección importaciones (ton)	Proyección (ton)
2018	38.375	7.675
2019	38.403	7.680
2020	38.432	7.686
2021	38.460	7.692
2022	38.489	7.697
2023	38.517	7.703
2024	38.546	7.709
2025	38.574	7.714
2026	38.603	7.720

Si se asume que este proyecto puede cubrir el 20% de lo que actualmente se importa, considerando que el mercado nacional actual cubre un 20% de la demanda total con una planta de tratamiento similar, se puede hacer una proyección de las toneladas de polvo de caucho que se deberían obtener para su venta, como se indica en la columna 3 de la tabla 5. Por otro lado, el producto resultante tiene muchas aplicaciones y utilidades; por lo que podría resultar ventajosa su comercialización frente a una alta demanda en productos derivados de la goma, como también frente a productos utilizados como combustible.

Actualmente, nuestro mercado es de tipo Oligopólico, debido a que en nuestro país hay pocos competidores que se dedican al área de proceso de neumáticos fuera de uso. No obstante y en consecuencia del exponencial crecimiento del mercado automotriz y de los bajísimos precios de los neumáticos, se extenderán oportunidades para nuevas plantas y

mercados extendidos por toda el área nacional.

4.1.3 Análisis de la oferta

a) Lugar para la disposición final de los NFU

A partir de una investigación en terreno de la situación, se pudo concluir que la gran mayoría de los NFU se originan en vulcanizaciones, desarmaduras, líneas de taxis, líneas de micro buses, y son finalmente dispuestos en patios, zonas aledañas, sitios eriazos y, como se pudo observar, en vegas y vertederos clandestinos.

Actualmente, de acuerdo a la información obtenida, existe en Chile sólo un lugar autorizado para el almacenamiento de los NFU de vehículos livianos que se encuentra en La Pintana, Región Metropolitana. Los neumáticos de la Minería, son almacenados en lugares destinados dentro de las mismas faenas para luego ser enterrados. Lo anterior permite inferir que la instalación de una planta formal dedicada al almacenamiento para posterior tratamiento de los NFU en la zona norte del país contribuiría a abordar esta problemática, aportando además en el cuidado del medioambiente.

El volumen de la demanda que se atenderá con el proyecto equivale a lo señalado en las tablas 4 y 5. Se proyecta que la demanda pueda crecer incorporando aquellos generadores de estos residuos ubicados al norte del país y para quienes sería una opción más factible financieramente para almacenar sus desechos.

Se han conocido otros proyectos, específicamente en la región de Antofagasta, para tratamiento de neumáticos de la gran minería ubicada en esa región, pero que hasta la fecha no han llegado a término. Dicho proyecto constituiría la mayor competencia para este proyecto si llegasen a ejecutarse, lo que puede ser una realidad debido a la puesta en marcha de la Ley REP y las oportunidades de negocio que esto representa. Por ahora las proyecciones se pueden realizar sin enfrentar una competencia significativa.

b) Productores de gránulo de caucho reciclado

Actualmente no existe en Chile una planta de reciclaje de neumáticos mineros funcionando de manera industrial y continua. Sí la hay para neumáticos convencionales. Se trata de la planta de trituración mecánica de NFU ubicada en Lampa, que con una inversión de USD\$ 5 millones dio valor agregado al caucho usado. La planta, de la empresa Polambiente, produce gránulo de caucho utilizado en pavimentar caminos, como aislante o para canchas deportivas sintéticas.

Polambiente inauguró en el año 2010 la única planta de neumáticos fuera de uso por largo tiempo en el país. La planta puede procesar neumáticos de hasta 1.400 milímetros hacia abajo, es decir, de auto, camión, camioneta y buses. La planta recicla entre 6.500 a 7.000 toneladas al año de NFU.

Desde Junio del 2010, Polambiente ha reciclado más de 8.000 toneladas de N.F.U equivalentes a 600 mil neumáticos, que han sido transformados en gránulos de caucho destinados a pisos de proyectos deportivos, plazas, jardines, baldosas de caucho, y próximamente en la construcción de calles y carreteras a partir de mezclas de asfalto caucho.

Considerando que Chile genera miles de toneladas al año entre neumáticos fuera de uso, carretero y minero, Polambiente ha completado los estudios necesarios conducentes a realizar importantes inversiones tecnológicas para incrementar su capacidad de procesamiento a 16.000 ton/año en su Planta de Lampa, que incluirá el reciclaje de neumáticos mineros gigantes en un proyecto único en nuestro país y pionero en el mundo. Asimismo, iniciará los estudios para la instalación de dos Plantas adicionales en el país, en el Sur y en el Norte.

4.1.4 Análisis de la comercialización

4.1.4.1 Características del producto/servicio

Este proyecto tiene contemplado, por una parte, entregar un servicio de almacenamiento de neumáticos de productores y generadores de NFU, y por otra, la obtención de un producto final a partir de un tratamiento.

Cabe señalar que los mismos neumáticos almacenados constituirán la materia prima para obtener el gránulo de caucho a comercializar.

- **Descripción del producto/servicio**

- a) **Servicio de almacenamiento de NFU**

En relación al servicio de almacenamiento de NFU que se generan como desechos ya sea a partir del mercado automotriz y de la minería, se requiere de un espacio que cumpla con la normativa de almacenamiento de residuos no peligrosos y cuyas dimensiones sean suficientes para almacenar unos 7.000 neumáticos al mes y que permita su crecimiento a 10.000 neumáticos al mes.

- b) **Producto Caucho Granulado**

El caucho granulado, también conocido como caucho molido, caucho para asfalto o caucho reducido, se deriva más comúnmente de los neumáticos reciclados de automóviles y camiones. Durante el proceso de reciclaje de los neumáticos, se retira todo el material que no sea caucho como suciedad, alambres y borra. Los residuos restantes de caucho se reducen a un tamaño más manejable, usando por lo general un molino mecánico. El procesamiento continuo reduce el tamaño del molido bruto en partículas de caucho

granulado, las cuales tienen diversas clasificaciones con base en el tamaño y el color de las partículas de caucho molido.

La tendencia a usar materiales reciclados ha incrementado la demanda del caucho granulado. La fabricación de caucho para asfalto es la aplicación de caucho granulado más importante por sí misma, consumiendo un estimado de aproximadamente 12 millones de neumáticos al año. El caucho granulado puede mezclarse con asfalto para mejorar las propiedades del asfalto usado en la construcción de carreteras.

El caucho granulado cuenta con otras aplicaciones, como ya se ha mencionado, incluyendo cubierta de tierra debajo de equipos de campos recreativos, material para pistas de atletismo y como aditivo de suelo en campos deportivos y de juegos. Entre otros usos del caucho granulado se incluyen productos de hule (p. ej., cubiertas de alfombras, topes de muelles, plataformas de patios, bloques de cruces ferroviarios y topes móviles de reducción de velocidad); fabricación de neumáticos nuevos; refacciones automotrices como zapatas y cojines de frenos; como aditivo en plásticos moldeados y extruidos por inyección y como aplicaciones agrícolas y de horticulivo, además de rectificaciones de suelo.

Como puede observarse, existen diversos tipos de caucho granulado y estas variaciones suelen ofrecer características ampliamente diversas. En promedio, el caucho granulado posee una densidad aparente de $0,35 \text{ g/cm}^3$, dependiendo del grado. El caucho granulado suele adoptar formas irregulares y puede presentarse en una variedad de grados en el mismo envío. A fin de evitar que se aglomere y promover su flujo, algunos procesadores añaden carbonato de calcio o talco (a un máximo de cuatro por ciento del peso) a las partículas de caucho granulado.

La granulometría del caucho, tiene diferentes dimensiones, según el producto final a elaborar. Por ejemplo:

Tabla 6. Granulometría del caucho según producto final. Fuente: Elaboración propia, a partir de información obtenida en páginas web de fabricantes.

Producto	Cantidad de caucho	Granulometría
Asfalto	El promedio anual de mezclas asfálticas en caliente es de 73 mil toneladas. De estas mezclas asfálticas, el 28,5% corresponde a la componente de polvo de caucho reciclado (20,8 ton. de caucho al año)	$\leq 6,3$ mm
Baldosas de caucho	Para fabricarla se necesitan 20 Kg/m ² de caucho granulado.	1 a 5 mm
Canchas de pasto sintético	Una cancha de fútbol de pasto sintético, de medidas reglamentarias, aproximadamente posee unos 8.000m ² en total, lo que consume 100 ton. de caucho.	2 a 3 mm
Pistas deportivas	Las medidas de una pista de atletismo son de 400 x 10 mts. para lo cual se necesitan 70 a 80 ton. de caucho granulado	1 a 4 mm

Se puede agregar a lo anterior, que el caucho reciclado posee cadenas poliméricas más cortas; mayor facilidad de procesamiento; menor tiempo de mezclado y menor consumo de energía; menor resistencia a la tracción y menor costo.

- **Productos/servicios sustitutos.**

Para la disposición final de los NFU de la zona, siempre existirán vulcanizaciones, servitecas, desarmaduras, líneas de taxis, sitios eriazos y vertederos clandestinos, los que se espera que con la nueva Ley REP, vayan disminuyendo aceleradamente, mientras se da espacio a zonas de almacenamiento más formales y normadas.

Como productos sustitutos del caucho reciclado son considerados el caucho natural y el caucho sintético. Estos son fabricados en Chile, pero también son importados.

La demanda que está presente en Chile nos obliga a comprar a países extranjeros, pagando también el costo de envío y seguro de éstos, lo que demuestra un claro mercado para la implementación de la planta de reciclaje de neumáticos fuera de uso en nuestro país; lo que se constituiría un negocio, puesto que se entregarían soluciones ambientales a la población y se recibirían remuneraciones por la venta de un producto derivado con alto valor agregado. Además, existe un aumento en los precios del caucho a nivel mundial, lo que se traduce en una oportunidad para comercializar caucho derivado de NFU tomando en cuenta, además, el valor agregado que éste posee.

4.2 Estudio Técnico

4.2.1 Localización óptima del proyecto

Como la decisión de localización es a largo plazo y trae consecuencias de carácter económico, se debe hacer lo más exacta posible. Por lo tanto, debe ubicarse en un lugar definitivo y estratégico.

Dicho análisis se realizó utilizando el método cualitativo por puntos, en el cual se definen los factores más importantes de la localización, para asignarles valores ponderados de peso relativo sobre la base de una suma igual a uno. Estos pesos son acordes a su importancia.

Se asignó una calificación a cada factor en una localización de acuerdo con una escala de 0 a 10, tal como se indica en la tabla 7.

Donde la calificación fue:

Tabla 7. Criterios de evaluación para la localización. Fuente. Elaboración propia

Excelente	10
Muy Bueno	8
Bueno	6
Regular	4
Malo	2

Dentro del análisis de localización, existen 2 etapas que deben realizarse, las cuales están condicionadas al resultado del análisis, estas etapas son: Macro localización y Micro localización.

4.2.1.1 Macro localización

La Macro localización consiste en comparar alternativas entre las zonas del país y seleccionar la que ofrece mayores ventajas para el proyecto (región, provincia). Pero la Macro localización ya ha quedado definida desde el principio como la Conurbación La Serena – Coquimbo, debido a que el proyecto pretende ser un aporte para la zona tanto en la sustentabilidad ambiental, como la sustentabilidad social al ser una fuente de generación de empleos.

4.2.1.2 Micro localización

Por otro lado, la Micro localización consiste en determinar en qué lugar de la ciudad seleccionada, en este caso la Conurbación, sería la ubicación óptima.

Es así, como se han considerado para esta evaluación los siguientes factores:

- **Accesos**

Se estudian las diversas vías de acceso que tendrá la planta.

- **Cercanía con proveedores de Materia Prima.**

El lugar debe estar cerca, en lo posible, de los proveedores de NFU para que los costos de traslado no sean significativos.

- **Seguridad.**

Seguridad que entrega en entorno a los trabajadores para su desempeño.

- **Zona industrial.**

Es importante que la planta esté emplazada en una zona industrial, que no colinde con urbes o conjuntos de casas habitación. Lo anterior permitirá facilitar los permisos de habilitación y funcionamiento.

Las zonas escogidas para la evaluación son zonas emplazadas cerca de otras industrias.

Zona 1: Juan Soldado, comuna de La Serena, a 11 Km. al norte centro de La Serena.

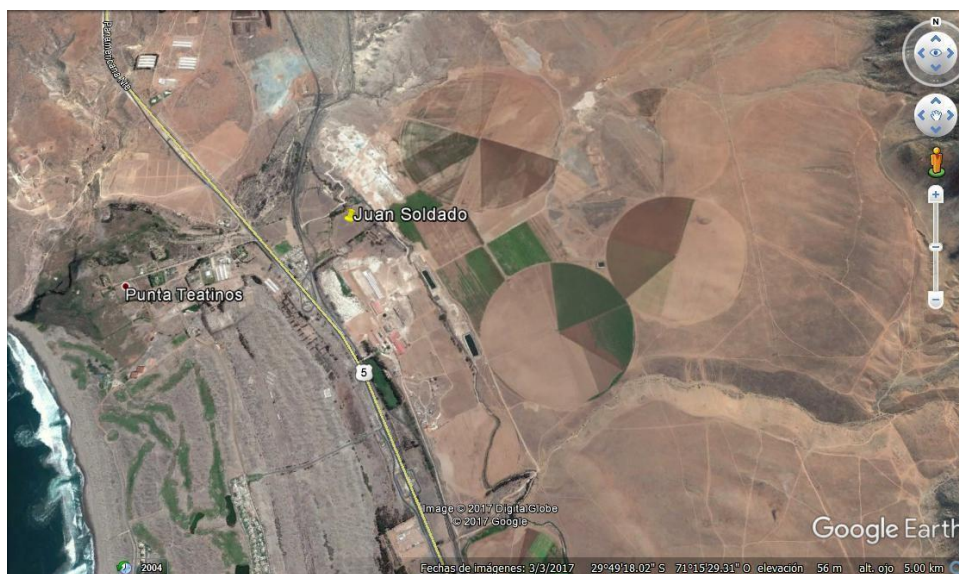


Figura 5. Foto satelital Zona 1. Fuente: Google Earth

Zona 2: Pan de Azúcar, comuna de Coquimbo, a 20 Km al sur del centro de La Serena.



Figura 6. Foto satelital de Zona 2. Fuente: Google Earth

Zona 3: Barrio Industrial, comuna de Coquimbo, a 7 Km. Al sur del centro de La Serena.



Figura 7. Foto satelital Zona 3. Fuente: Google Earth.

A continuación se presenta la evaluación realizada en el marco de la Micro Localización.

Tabla 8. Resultado de la Micro localización. Fuente: Elaboración propia

Factor	Peso	Zona de la conurbación La Serena - Coquimbo					
		Juan Soldado		Pan de Azúcar		Barrio Industrial	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Accesos	0.25	Muy bueno	8	Muy bueno	8	Muy bueno	8
Cercanía Proveedores de NFU	0.25	Regular	4	Muy bueno	8	Muy bueno	8
Seguridad	0.2	Regular	4	Bueno	6	Bueno	6
Zona Industrial	0.15	Muy bueno	8	Muy bueno	8	Excelente	10
Costo Terreno	0.15	Regular	4	Excelente	10	Regular	4
TOTAL	1		5,6		7,9		7,3

En consecuencia, el lugar más propicio para instalar la Planta es en **Pan de Azúcar**, el que tiene buenos accesos para transporte de carga, está cerca de la Minera Teck, donde se generan los NFU de mayor envergadura y además tiene buena conectividad con la carretera que une con la ciudad. La zona es 100% industrial y el terreno tiene buena plusvalía.

4.2.2 Ingeniería del Proyecto

4.2.2.1 Proceso de producción

Existen muchos procesos para el tratamiento de neumáticos fuera de uso, pero la trituración mecánica es conocida hace muchos años en países de Europa, principalmente en España, y la puesta en marcha ya es un hecho confiable en nuestro país, ya que existe una planta de trituración mecánica de NFU ubicada en Lampa, la empresa Polambiente, que con una inversión de USD\$5 millones dio valor agregado al caucho usado. Por lo mismo, la mantención de la tecnología asociada a este tipo de proceso también es conocida en nuestro país, lo que permite la contratación de profesionales locales para realizar esta labor.

De acuerdo a la investigación realizada, el proceso para el tratamiento mecánico de NFU es similar a los proyectos consultados, “Planta de reciclaje de neumáticos de caucho. Comercialización de miga de caucho” y “Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados”, realizados en 2016 y 2015, respectivamente. Se seleccionó una planta de la empresa alemana Bomatic, la que tiene una capacidad de producción de 1,8 ton/hora de caucho granulado < a 4mm.

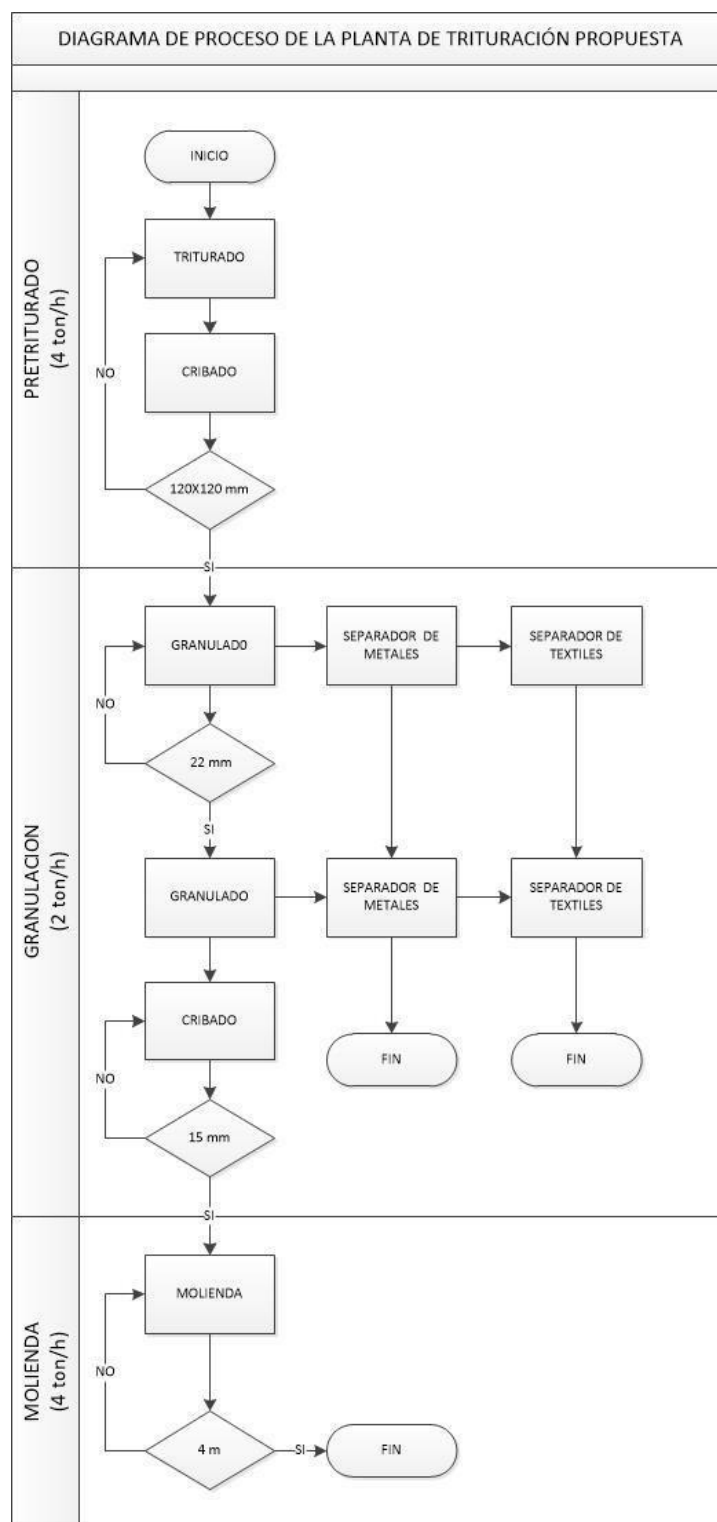


Figura 8. Diagrama de flujo del Proceso. Fuente: Elaboración propia, a partir de información obtenida en la web.

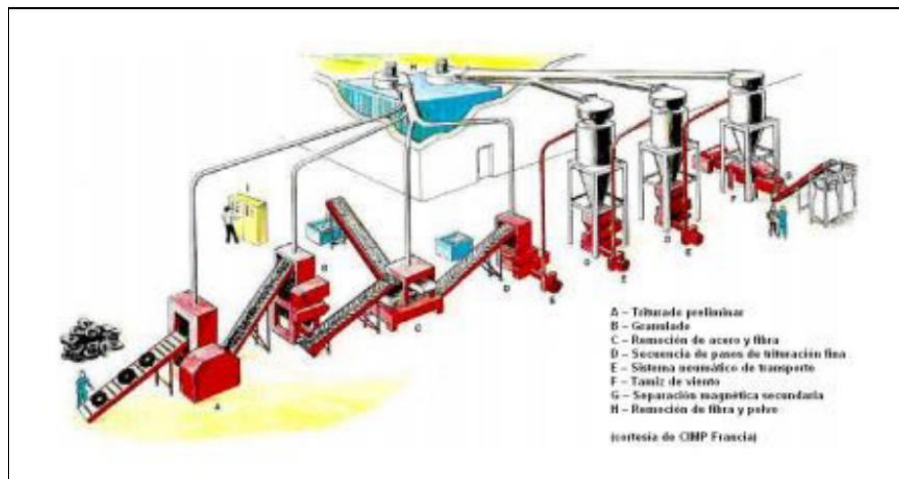


Figura 9. Proceso productivo del reciclaje de caucho por molienda mecánica. Fuente: CADENAS, Nigme. Recuperación de caucho a partir de neumáticos fuera de uso.

En general, los neumáticos se procesan para obtener trozos hasta de 50 mm en una trituradora. Luego los trozos pasan a un granulador, que reducen su tamaño hasta 10 mm. El acero se remueve por medios magnéticos y la fibra se elimina mediante la combinación de zarandas vibratorias y tamices de viento. Luego mediante sucesivos molidos se reducen hasta 2 mm.

El proceso se divide en 3 partes:

- Pre-trituración
- Granulación
- Molienda

Sección I: Pre-trituración

Tabla 9. Características del proceso de pre-trituración. Fuente: <http://www.unoreciclaje.com>.

Producto:	30% neumáticos de camión 70% neumáticos.
Tamaño del granulado:	Aprox. 120x120mm (similar a la palma de la mano)
Rendimiento:	Aprox. 3t/hora

En la sección de pre-triturado los neumáticos son conducidos a la tolva del módulo de corte, donde se trocean. El material troceado es aportado a una criba de disco por medio de una cinta transportadora. Los trozos superiores a 120x120mm son retenidos y retornados de nuevo a la cortadora rotativa; los trozos más pequeños son conducidos a un vaciadero por otra cinta transportadora. Desde aquí, son transportados a la sección de granulado.



Figura 10. Cortadora rotativa. Fuente: VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados.



Figura 11. Material resultante después del proceso de pre-triturado. Fuente: VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados.

Sección II: Granulado

Tabla 10. Características del proceso de granulado. Fuente: <http://www.unoreciclaje.com>

Tamaño granulado:	Aprox. 15mm
Rendimiento:	Aprox. 2t/h

A través de una cinta transportadora se llevan los trozos de neumáticos con un tamaño equivalente a la palma de la mano, a un silo automático. Los trozos de neumáticos ya cortados son llevados del silo a través de una abertura a la sección de granulación y molienda. Esta sección consta principalmente, de dos eficientes granuladores y dos segmentos de corte paralelos. El primer granulador está equipado con una criba cuyo tamaño de perforación es de 22mm. El segundo granulador tiene una criba con un tamaño de perforación de 15mm.

El primer granulador es más grande y más potente que el segundo, ya que éste hace la mayor parte del trabajo y se le aporta mayor cantidad de metal que al segundo.

Los granuladores también están específicamente diseñados para la granulación de neumáticos. La pieza central del granulador, es el eje del rotor, conformado por diferentes piezas individuales. El resultado es un esbelto rotor, cuya energía de rotación puede frenarse en caso de averías. Los soportes individuales del rotor se accionan en un eje y se

atornillan entre sí. Las cuchillas están atornilladas a los soportes del rotor. Si se produce una avería, los soportes del rotor pueden reemplazarse sin tener que desmontar todo el eje. Otras ventajas son, entre otras, un embrague deslizante para separar el motor/eje y los cojinetes esféricos ubicados fuera de la cámara de corte. El módulo de corte se pliega hidráulicamente garantizando la rápida accesibilidad a las cuchillas con total seguridad.

El material alimenta la máquina a través de la tolva que cuenta con una abertura superior. A continuación pasa a ser triturado mediante cuchillas rotativas y dos líneas de cuchillas estáticas.

Tras el proceso de triturado, el material es seleccionado por la criba, ya que si éste cuenta con un tamaño menor que la perforación de la criba cae, pero si por el contrario el tamaño implica mayor grosor estas partículas serán de nuevo remitidas mediante las cuchillas del rotor a las cuchillas estáticas. A partir de este momento, se iniciaría de nuevo el proceso de triturado, el cual será repetido hasta que el material cuente con el tamaño requerido por los orificios de la criba.



Figura 12. Material post proceso de granulación. Fuente: VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados

Sección III: Molienda

Tabla 11. Características del proceso de molienda. Fuente: <http://www.unoreciclaje.com>

Tamaño del granulado:	Aprox. 4mm
Entrada:	Aprox. 2t/h

Tras la segunda granulación y otra fase de separación de metales, el material es transportado a una cribadora, donde los materiales que tienen un tamaño inferior a los 4mm son retenidas para su descarga en el molino. El resto es transportado a un molino cortador dotado de una criba con agujeros de 4mm para su molienda.

Para la protección del medio ambiente, los granuladores y los molinos de corte están dotados de sistemas de extracción con una capacidad de aspirado de 5.000 m³/h. Con ello se garantiza un entorno casi exento de polvo y, al mismo tiempo, se refrigeran los componentes de la instalación. El sistema de filtrado se suministra en forma de cápsula a presión. Con este sistema de aspiración de polvo, se obtiene aire puro.

El material es aspirado del molino y aportado a otro silo, donde es transportado dosificadamente por un canal de evacuación y depositado en un tambor magnético, para separar de nuevo las partes de acero más pequeñas del flujo de material. La cribadora instalada sobre amortiguadores de caucho anti-vibraciones separa el flujo de material en 3 fracciones: (textil, granulado 0,25-4mm, > 0,25). Otro elevador transporta el granulado a otra cribadora para separar el granulado con la fracción final. Desde aquí cada fracción será conducida a las mesas de selección para extraer los minerales del granulado. El siguiente estadio será la separación de los textiles que permitirá extraer la pelusa del granulado. Finalmente el producto será procesado por una criba vibrante y embolsado.

Tanto la granuladora como también la sección de limpieza están equipadas con un eficiente sistema de extracción de polvo, cuya función es aspirar las secciones en las cuales se produce polvo y filtrar el aire.



Figura 13. Material post proceso de molienda. Fuente: VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados

4.2.2.2 Equipo y maquinaria

Los equipos y maquinaria seleccionados, corresponden a los de una empresa alemana fabricante de máquinas modernas de trituración, Bomatic. Es así como las características técnicas mencionadas a continuación fueron referenciadas desde la página web <http://www.unoreciclaje.com>.

Sección I: Pre-trituración

- **Trituradora**

Máquina utilizada para procesar neumáticos con la finalidad de obtener trozos más pequeños de los mismos, mediante dos árboles porta cuchillas que giran recíprocamente de forma asincrónica.

Tabla 12. Características técnicas de la Trituradora. Fuente: <http://www.unoreciclaje.com>

Potencia motriz	110 kW
Cable de conexión	2 x 4 x 70 mm ²
Fusibles	2 x 160 (A) de acción lenta.
Abertura del mecanismo cortador	1.355 x 900 mm.
Abertura de la tolva	2.100 x 1500 mm.
Tamaño del granulado	Está determinado por el ancho de las cuchillas.

- **Cinta transportadora**

Encargada de transportar todo tipo de material por el circuito de la planta.

Tabla 13. Características técnicas de la Cinta Transportadora. Fuente: <http://www.unireciclaje.com>

Distancia entre ejes	8.200 mm
Ancho de la cinta	1.000 mm.
Accionamiento	2,2 kW / 40 V /50 Hz.
Altura de la pared lateral	350 mm.
Material de caja	Acero perfilado.
Laterales	Chapa de acero 2 mm de grosor.
Velocidad de la cinta	16 m/min.

- **Criba de disco**

Este equipo tiene como finalidad la separación del material de mayor tamaño del más fino mediante discos vibratorios que están situados en forma paralela cuyo proceso es realizado posterior a la trituración.

Tabla 14. Características técnicas de la Criba de Disc. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Armazón inferior	Construcción soldada, acero perfilado
Bastidor de la criba	Está compuesto de discos de acero.
Accionamiento	Motor reductor de 5kW , transmisión por cadena 400 V / 50 Hz.
Dimensiones exteriores	700 x 4.000 mm.

- **Sistema de retorno de los granos requeridos**

Resbaladero de chapa de acero de alta calidad, que une el rebose de la criba con la cinta transportadora de retorno.

Tabla 15. Características técnicas del Sistema de retorno. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Longitud de transporte	17.000 mm
Ancho de la cinta	800 mm.
Tipo de cinta	Caucho resistente al aceite y a la grasa.
Tambor de accionamiento	140 mm.
Tambor de inversión	140 mm.
Accionamiento	3 kW / 400 V / 50 Hz.
Velocidad	0,4 m/s.

- **Cinta transportadora de evacuación**

Se encarga de transportar el material que no fue filtrado por la cribadora hacia la trituradora nuevamente.

Tabla 16. Características técnicas de la Cinta transportadora de evacuación. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Longitud de transporte	6000 mm
Ancho de la cinta	1200 mm.
Tipo de cinta	Caucho, resistente al aceite y a la grasa.
Tambor de accionamiento	180 mm.
Tambor de inversión	180 mm.
Accionamiento	2,5 kW / 400 V / 50 Hz.
Velocidad	0,4 m/s.

- **Panel de control**

En él están concentrados todos los mandos de los componentes de la instalación

Tabla 17. Características técnicas del Panel de control. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Tensión de red	400 V / 50 Hz.
Tensión de mando	230 V / 50 Hz.

Sección II: Granulado

- **Granulador 1**

Es el primer granulador, y tiene como objetivo llevar los pedazos de caucho de medidas

aproximadas de 150x150 mm hasta migas de caucho de 20mm. Es de potencia mayor que el segundo granulador, ya que requiere mayor esfuerzo al romper caucho de mayor dimensión.

Tabla 18. Características técnicas del Granulador 1. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Potencia motriz	160 kW.
Peso	20.700 kg.
Cuchillas del rotor	48.
Cuchillas estáticas	4.
Diámetro del rotor	600 mm.
Apertura del mecanismo de corte	1.700 x 800 mm.
Rendimiento	2 ton/hora.
Tamaño del granulado	18-20 mm de diámetro.

• Granulador 2

Segundo granulador, capaz de reducir desde 20 mm de diámetro hasta 3.5 a 5 mm de diámetro en la miga de caucho. El material es triturado mediante cuchillas rotativas y dos líneas de cuchillas estáticas. Es de menos potencia que el anterior, porque no se encuentra sometido a los mismos esfuerzos.

Tabla 19. Características técnicas del Granulador 2. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Potencia motriz	90 kW.
Peso	10.500 kg.
Cuchillas del rotor	24.
Cuchillas estáticas	4.
Diámetro del rotor	500 mm.
Accionamiento	75/90 kW.
Velocidad del rotor	280 RPM.
Rendimiento	1,5 ton/hora.
Tamaño del granulado	3,5 a 5 mm de diámetro.

• Separador magnético sobre cinta

Se compone de correas de imanes perpendiculares a la línea de producción. Este se encarga de separar alambres de los gránulos mediante un eficiente sistema de imanes para

después llevarlos hacia otra sección para su posterior compactación.

Tabla 20. Características técnicas del Separador magnético. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Potencia motriz	1,5 kW
Longitud del imán	1.000 mm
Ancho del imán	450 mm
Altura de levantamiento	200 mm

• **Sistema de extracción de polvo como filtro redondo**

Eficiente sistema encargado de extracción de partículas de polvo suspendidas en el aire, evitando contaminación e reduciendo riesgo de enfermedades respiratorias para los operarios.

Tabla 21. Características técnicas del Sistema de extracción de polvo. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Filtro de manga	<ul style="list-style-type: none"> • Sección superior con mangas filtrantes, depósito de aire comprimido, y salida de gas puro con contra brida. • Mando electrónico con función de intervalos ajustable de forma pulsatoria.
Equipo neumático	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro alcachofas: diseñado de acero redondo de 5 mm de diámetro, con fondo de chapa redondeado. • Mangas filtrantes: con fondo cocido y anillo de sujeción inoxidable. • Cámara de filtro: En chapa de acero de 3 mm wall tickness. La cámara de filtro está provista de una entrada en forma de espiral que está emplazada en la cámara. Como material de diseño; acero al cromo. • Cono de fondo de 3 mm de espesor, punta cónica provista de una escotilla de limpieza e interruptor de seguridad
Distribuidor por rueda celular en modelo a prueba de presión	<ul style="list-style-type: none"> • Material carcasa: Acero SAE 1030. • Rotor: Acero SAE1045. • Entrada rectangular: 635 x 356 mm. • Capacidad: 140 lts. • Accionamiento: 3 kW. • Número de revoluciones: 35 RPM.
Ventilador radial	<ul style="list-style-type: none"> • Accionamiento: 30 kW • Caudal: 20.000 m³/h

- **Panel de control**

Unidad de potencia con interruptores guarda motor y contactores principales y auxiliares para los accionamientos. Unidad de mando con control de inversión integrado para la alimentación equivocada de materiales que no deben ser troceados.

Incluye pulsadores, interruptores y señalizadores luminosos para el manejo de la instalación y la vigilancia.

Las características técnicas son similares a las presentadas en la Tabla 15.

Sección III: Molienda

- **Cribadora plana**

Encargada de realizar un filtrado previo al granulado que viene de las granuladoras y se encuentra retenido.

Tabla 22. Características técnicas de la Cribadora plana. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Accionamiento	7,5 kW / 400 V / 50 Hz
Superficie de cribado	3,1 m ²

- **Molino cortador**

Tiene como función moler los gránulos que anteriormente fueron procesados en la trituradora, entregando así, la fracción final del proceso de reducción de diámetro en la miga de caucho.

Tabla 23. Características técnicas del Molino cortador. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Accionamiento	Motor trifásico de 200 kW.
Tensión	400 V / 50 Hz.
Diámetro de boquilla	800 mm.
Cantidad de cuchillas	6.
Cantidad de filas con cuchillas	5.

- **Sistema de extracción de polvo como filtro redondo**

Este equipo es el mismo que se utiliza en la sección de granulado.

- **Panel de control**

Este panel tiene las mismas características del utilizado en la sección de granulado.

- **Silo de recepción**

Sirve para recibir el granulado de los neumáticos.

Tabla 24. Características técnicas del Silo de recepción. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Volumen:	9.800 Ltr.
Longitud:	2.000 mm
Ancho:	2.000 mm
Altura:	3.200 mm

- **Separador magnético de tambor**

Tabla 25. Características técnicas del Separador magnético de tambor. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Potencia motriz:	1,5 kW
Largo del tambor:	250 mm
Ancho del imán:	250 mm
Radio de acción:	210°

- **Cribadora plana**

Sirve para el cribado del granulado en dos fracciones.

Tabla 26. Características técnicas de la Cribadora plana de Molienda. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Superficie de cribado:	2,1 m ²
Accionamiento:	7,5 kW / 400 V / 50 Hz

- **Tornillos transportadores**

Elemento de unión.

Tabla 27. Características técnicas de los Tornillos transportadores. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Longitud de transporte:	4.700 mm
Longitud de la rosca:	5.100 mm
Diámetro de la rosca:	108 mm
Paso de la rosca:	80 mm
Estación de accionamiento:	Con árbol de sujeción y rodamiento final
Accionamiento:	2,2 kW / 400 V / 50 Hz
Tubuladura de entrada:	Diámetro 250 mm
Tubuladura de salida:	250 x 250 mm con brida de conexión circundante

- **Separación de textiles**

Tabla 28. Características técnicas del proceso de Separación de textiles. Fuente: <http://unoreciclaje.com>

Servicio de aspiración:	hasta 4.000 m ³ /h
Soplador de impulsión:	8,0 kW / 400 V / 50 Hz Con silenciador y filtro de aspiración
Estación de dosificación:	Con canal vibratorio y tolva de alimentación
Armazón inferior:	En robusta construcción soldada de acero perfilado, incluyendo plataforma de mantenimiento y escalera
Carcasa de la mesa:	Diseñada como robusta construcción soldada de chapa de acero
Asiento de mesa:	Soportado sobre caucho
Salida / pelusas:	Por codo de 250 mm de diámetro nominal
Salida / granulado:	Por codo de 250 mm de diámetro nominal



Figura 14. Referencia de planta recicladora de neumáticos. Fuente: VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados.

Se propone la siguiente distribución para la planta en funcionamiento:

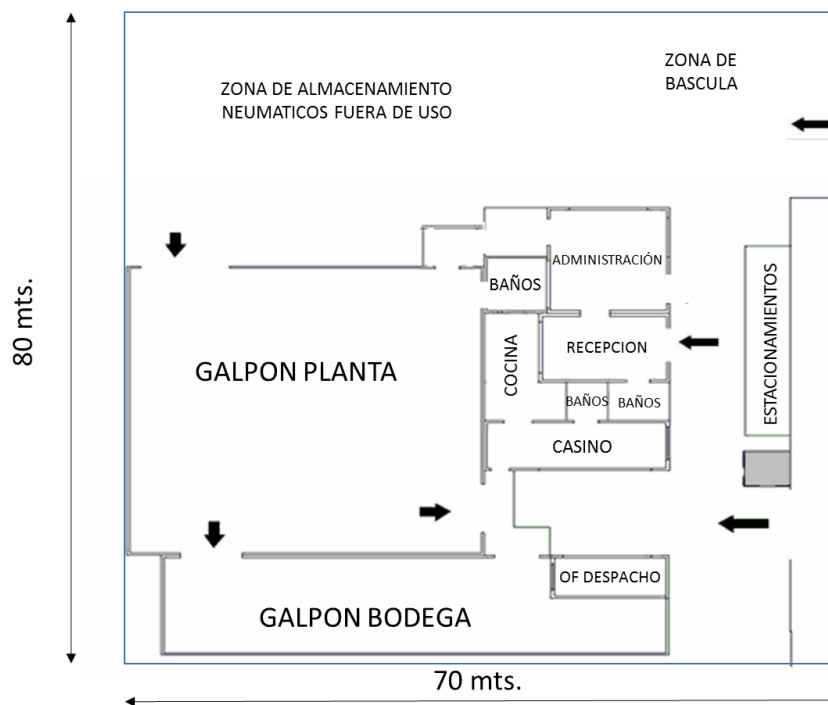


Figura 15. Propuesta de Layout de la planta. Fuente: elaboración propia

4.2.2.3 Recurso Humano

Para esta planta es necesario contar con el grupo de profesional y técnicos que describen a continuación:

Tabla 29. Recurso Humano propuesto para la operación y administración de la planta. Fuente: Elaboración propia

	Nombre Cargo	Función	Puestos
Gerencia	Gerente	Gestionar, administrar la empresa y generar nuevos negocios. Es el representante legal.	1
	Asistente Ejecutiva	Recepción y asistencia administrativa al Gerente y Jefaturas	1
Comercial y Marketing	Jefe de Marketing y Finanzas	Encargado de dar soporte administrativo a la empresa en cuanto a las funciones de finanzas, recursos humanos, recursos físicos y abastecimiento. Encargado de la gestión comercial y venta de los GCR.	1
Logística	Encargado de logística	responsable de la planificación de llegada y de salida de las materias primas y productos	1
	Vigilante	Encargo de la seguridad del recinto	2
Producción	Jefe de Producción	Responsable de la producción de GCR.	1
	Supervisión de producción	Responsable de la supervisión de los operadores de producción en modalidad 7x7	2
	Prevencionista (Part-Time)	Encargado de la seguridad laboral (part-time 8hrs. x semana)	1
	Operador	Encargado de operar máquinas, ya sea alimentando las líneas como recibiendo el producto	8
	Chofer grúa	Encargado del transporte de materia prima y producto embalado y corte de neumáticos.	2
Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento	responsable del mantenimiento de la planta	1
	Auxiliar de Aseo	Encargado de la limpieza de la planta y dependencias de la empresa, así como a actividades de apoyo que le sean encomendadas.	1
	Mecánico	Encargado del mantenimiento de máquinas y equipos en general	1
	Ayudante de Mecánico	Se encarga de ayudar a la mantención y operación de la planta.	1
TOTAL			24

4.3 Estudio Financiero

4.3.1 Inversión requerida

4.3.1.1 Inversión en infraestructura y habilitación de Planta

Para la infraestructura de la Planta se cotizaron 2 galpones (Planta y Bodega) y construcción de oficinas, casino, cocina y baños.

Tabla 30. Inversión en infraestructura. Fuente: Cotización Empresa ASSIEME de infraestructura similar.

Item	Monto, IVA incluido
Galpón planta 24mts x 55mts	\$ 29.305.474
Galpón bodega 15mts x 24mts	\$ 7.992.402
Oficinas y servicios anexos 211.5mts ²	\$ 129.698.398
TOTAL	\$ 166.996.274

4.3.1.2 Inversión en terreno

El terreno en el que se quiere emplazar la Planta, corresponden a 5.727 m².

Tabla 31. Inversión en terreno. Fuente: <http://www.yapo.cl>

Item	Monto, IVA incluido
Terreno en Barrio Industrial 5.727m ² , UF 20.047,37	\$ 46.000.000
TOTAL	\$ 46.000.000

4.3.1.3 Inversión en equipamiento administrativo

Tabla 32. Inversión en equipamiento administrativo. Fuente: <http://www.mercadopublico.cl>

Item	Cantidad	Valor unitario	Monto total, IVA incluido
Escritorios	10	\$ 47.000	\$ 559.300
Sillas	10	\$ 27.824	\$ 331.106
Notebooks	9	\$ 772.465	\$ 6.952.185
Teléfonos	10	\$ 30.532	\$ 363.331
Sofá de espera	1	\$ 269.000	\$ 320.110
TOTAL			\$ 8.526.032

4.3.1.4 Inversión en equipamiento y maquinaria

En esta evaluación se consideró como referencia el costo de la Planta Bomatic.

Tabla 33. Inversión en equipamiento y maquinaria: Fuente: <http://www.unoreciclaje.com>

Item	Cantidad	Precio (USD)	Monto total (\$)
Planta	1	444.371	294.942.364
Grúa horquilla	1	6.913,71	4.588.837
Cargador frontal	1	60.495	40.152.347
Carretillas	8	432,2	2.294.920
Extintores	10	795,1	5.277.320
Palas	8	172,8	917.544
Radios portátiles	24	2.117,3	33.727.584
Básculas	2	2.074,1	2.753.286
Vehículo	1		16.186.023
TOTAL			400.840.225

4.3.1.5 Capital de trabajo

Considerando el carácter de prefactibilidad del estudio, el cálculo de capital de trabajo será definido en bases los siguientes egresos anuales: Sueldos del personal administrativo y operacional, consumo energético e insumos de oficina.

- **Sueldos del personal administrativo y operacional**

De acuerdo a los cargos mencionados en la Tabla 26, los siguientes son los costos por remuneraciones asignados por unidad administrativa.

Tabla 34. Remuneraciones y previsiones. Fuente: <http://www.tusalario.org>

	Sueldos líquido	Previsión 20%	Incentivos 15%	Total Anual
Gerencia	2.800.000	560.000		40.320.000
Comercial y Marketing	1.800.000	360.000		25.920.000
Logística	1.300.000	260.000	195.000	21.060.000
Producción	6.900.000	1.380.000	1.035.000	111.780.000
Mantenimiento	2.500.000	500.000	375.000	40.500.000
Total	15.300.000	3.060.000	1.605.000	239.580.000

- **Consumo Energético**

Tabla 35. Consumo energético de la planta. Fuentes: <http://www.unoreciclaje.com>

Servicios básicos	Valor unitario	Consumo	Otras consideraciones	Consumo anual
Electricidad	78,690 \$/kWh ¹	633,9 kWh ²	Turno diario de 11 horas	\$ 197.531.100
TOTAL				\$ 197.531.100

El Capital de trabajo asciende a \$ 437.111.100.

4.3.2 Costos fijos y variables

4.3.2.1 Costos fijos

- **Sueldos de operarios y administrativos**

Los sueldos de las personas contratadas ascienden a \$ 239.580.000 anuales.

- **Gastos de servicio**

La siguiente tabla detalla el consumo por servicios básicos como el agua, electricidad, plan de teléfono y combustible.

¹ Tarifa actual de CONAFE

² Consumo de energía en base a los consumos de equipos y maquinarias

Tabla 36. Costos anuales por Servicios Básicos. Fuente: <http://ecolisima.com/cuanta-agua-consumimos-al-dia/>, <http://aguasdelvalle.cl>, <http://conafe.cl>

Servicios básicos	Valor unitario	Consumo	Otras consideraciones	Consumo anual
Agua	614,3 \$/m ³ ³	400 m3/mes		\$ 2.948.640
Combustible	470,6 \$/lt ⁴	120 lt/sem		\$ 2.710.656
Plan de teléfono	5,00 UF +IVA		UF = \$ 26.652	\$ 1.902.953
TOTAL				\$ 205.093.349

- **Gastos destinados para mantención**

Para la mantención de la planta se considerara el 0,8% del valor total de la planta (sin considerar el CIF), para posterior al primer año, la cifra aumente a 1,03% del valor total de la planta.

Para la mantención de los otros elementos de la planta, se considerará el 1% de la inversión en activos fijos (infraestructura, vehículos, terreno).

Tabla 37. Gastos destinados para mantención. Fuente: Elaboración propia

Item	Costo Anual (\$)
Mantención en infraestructura	1.669.963
Mantención en terrenos	5.343.025
Mantención en maquinaria y equipos	1.058.979
Mantención Planta de Tratamiento	2.359.539
TOTAL	10.431.506

³ Tarifa actual de Aguas del Valle

⁴ Valor del litro de diésel en COPEC

4.3.2.2 Costos Variables

Costo en energía eléctrica de aquellos aparatos dispuestos para el trabajo administrativo e iluminación de la planta en general.

Tabla 38. Costo en energía eléctrica. Fuente: [www.http://www.google.com](http://www.google.com)

Elemento	Cantidad	Consumo (kW)	Funcionamiento (h/mes)	Costo (\$/año)
Notebooks	9	0,1	160	135.977
Impresoras	3	0,065	160	29.462
Radios portátiles	20	0,035	336	220.402
Luminaria	12	0,25	336	951.835
Iluminación galpón	10	0,25	336	793.196
Iluminación bodega	4	0,25	336	317.279
Il. Cocina/baños, oficina.	64	0,04	336	67.686
TOTAL				2.515.937

4.3.3 Ingresos

- **Ingresos por almacenamiento de NFU**

Para el presente proyecto se propone la siguiente política de precios:

Almacenamiento	\$/ton de NFU almacenado
NFU Minera Teck	150.000 ⁵
NFU de vehículos de carretera	50.000

Se considera con un aumento de 12% anual por concepto inflacionario.

Los cálculos correspondientes a los ingresos por el servicio de almacenamiento de NFU se presentan a continuación.

⁵ El precio considerado corresponde al definido en proyecto para almacenamiento de NFU de Minera Chuquicamata.

- **Almacenamiento de NFU de vehículos livianos y de carga**

Tabla 39. Ingresos por almacenamiento de neumáticos de vehículos livianos y de carga. Fuente: Elaboración propia.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ton NFU/año	8.182	8.549	8.915	9.281	9.648	10.014	10.380	10.746	11.113	11.479
\$/ton	50.000	51.000	52.020	53.060	54.122	55.204	56.308	57.434	58.583	59.755
M\$/año	409.118	435.981	463.755	492.465	522.139	552.802	584.483	617.210	651.012	685.920

- **Almacenamiento de NFU de Minera**

Tabla 40. Ingresos netos por almacenamiento de NFU de Minera: Fuente: Elaboración propia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ton NFU/año	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
\$/ton	150.000	153.000	156.060	159.181	162.365	165.612	168.924	172.303	175.749	179.264
M\$/año	21.000	21.420	21.848	22.285	22.731	23.185	23.649	24.122	24.604	25.096

- **Ingresos por venta de caucho granulado**

Para el presente proyecto se propone la siguiente política de precios:

Venta de caucho granulado 100.000 \$/ton de caucho⁶

Además,

Tipo de NFU	Ton/caucho que se generan
NFU de gran tamaño	105
NFU de menor tamaño	0,0055

Se considera con un aumento del 2% anual por concepto inflacionario.

Los cálculos correspondientes a los ingresos por el servicio de almacenamiento de NFU se presentan a continuación.

Tabla 41. Ingresos por venta de caucho granulado. Fuente: Elaboración propia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ton caucho /año	4.723	4.747	4.770	4.794	4.817	4.840	4.864	4.887	4.911	4.934
\$/ton	100.000	102.000	104.040	106.121	108.243	110.408	112.616	114.869	117.166	119.509
M\$/año	472.329	484.165	496.286	508.697	521.407	534.421	547.748	561.393	575.366	589.673

Por lo tanto los ingresos anuales se resumen a continuación:

⁶ El cálculo de este valor se realizó en base al promedio que pagan las empresas manufactureras que respondieron nuestras consultas (4)

Tabla 42. Ingresos anuales en M\$ por servicio de almacenamiento y venta de caucho granulado. Fuente: Elaboración propia

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
902.448	941.567	981.889	1.023.448	1.066.277	1.110.409	1.155.880	1.202.726	1.250.983	1.300.690

4.4 Evaluación económica

4.4.1 Viabilidad del proyecto

Las consideraciones que se tomaron para este estudio son:

- Tasa de descuento 12%⁷
- Horizonte de evaluación de 10 años.

Los flujos de caja se presentan en el Anexo 4. Proyecto puro

VAN M\$ 2.038.118

TIR 41%

Estructura de préstamo para apalancar el proyecto.

Préstamo M\$ 622.362 (60% de Inversión inicial)

Tasa del préstamo 12%

Plazos (años) 10

Con estas estadísticas se percibió una rentabilidad del proyecto, arrojando

VAN M\$ \$ 2.350.375

TIR 86%

⁷ Se propone una tasa del 12%, considerando que el riesgo existente es medio, debido a que ya existe la experiencia del éxito de otras plantas similares, que los insumos son de fácil obtención y que el mercado nacional de los productos de caucho están en crecimiento.

4.4.2 Análisis de Sensibilidad

Se ha escogido el Modelo Unidimensional de la Sensibilización del VAN para definir el efecto que tendría sobre el resultado de la evaluación cambios, principalmente, en la cantidad de caucho a producir. Se ha elegido esta variable por sobre las otras, debido al propósito original de este proyecto y, consecuentemente, para poder, dar pie a un análisis más detallado de las variables asociadas a la producción de caucho, como lo son la cantidad de NFU livianos y la cantidad de NFU provenientes de la minería.

A partir de la ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FN_t}{(1+i)^t},$$

se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 43. Análisis de sensibilidad de la primera variable. Fuente: Elaboración propia.

Factor a sensibilizar	Factor	VAN	TIR
Cantidad de caucho a producir	0,72%	0	12%

Por lo tanto, la cantidad de caucho a producir podría ser menor hasta en un 0,72% y el proyecto seguiría siendo rentable.

Con respecto a la cantidad de NFU de vehículos pesados de la Minería, bajo los mismos estándares, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 44. Análisis de sensibilidad de la segunda variable. Fuente: Elaboración propia

Factor a sensibilizar	Factor	VAN	TIR
Cantidad de NFU de vehículos de minería	0%	M\$ 180.265	16,51%

Por lo tanto, si no existiera el interés de parte de la Cía. Minera de almacenar sus NFU en la planta, esto no implicaría un riesgo para el proyecto.

Con respecto a la cantidad de NFU de vehículos livianos, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 45. Análisis de sensibilidad de la tercera variable. Fuente: Elaboración propia

Factor a sensibilizar	Factor	VAN	TIR
Cantidad de NFU de vehículos livianos	11,34%	0	12%

Por lo tanto, el almacenamiento de NFU de vehículos livianos podría ser menor hasta en un 11,34% y el proyecto seguiría siendo rentable.

5 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior demuestran, en primera instancia, que es factible implementar una planta de tratamiento de Neumáticos Fuera de Uso en la Región de Coquimbo, ya que la materia prima necesaria para su funcionamiento se genera a escalas considerables y el insumo que se origina a partir del proceso se utiliza para elaborar productos pertenecientes a un mercado emergente en nuestro país y que, además, contribuyen al cuidado del medio ambiente.

La cantidad en la que se generan los NFU a nivel mundial, permite que la idea de una planta de tratamiento en cualquier parte del mundo sea factible en relación a la cantidad de producto final que se obtenga. Lo anterior, surge a partir de las diferentes memorias consultadas, pertenecientes a diferentes ciudades del mundo.

Es así como el proyecto consultado de la planta a instalar en Antofagasta⁸, que presenta la salvedad de que el insumo provendría, principalmente, de la Minería, también refleja resultados que favorecen la puesta en marcha del proyecto. Los ingresos de este también se estiman en miles de millones de pesos.

Se consultó un segundo proyecto para instalar en la Región del Biobío⁹, el cual también arrojó resultados positivos en su evaluación.

La metodología de evaluación en los tres proyectos es muy semejante, lo que valida la comparación de los resultados.

⁸ OLIVARES Carmona, Daniel. Planta de reciclaje de neumáticos de caucho. Comercialización de miga de caucho. Tesis (grado de Magister en Administración). Antofagasta, Chile. Universidad de Chile, Postgrado Economía y Negocios, 2016. 56 h.

⁹ VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados. Seminario de título (título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica). Concepción, Chile. Universidad del Bio Bio, Facultad de Ingeniería, 2015. 115 h.

Ahora la tarea será concentrarse en el uso que se le puede dar a ese producto final, o al NFU sin procesar, que permita cubrir un mercado insatisfecho o generar un nuevo producto.

La instalación de esta planta es beneficiosa para la Región en un nivel social, económico y cultural, permitiendo mejorar la calidad de vida por el trabajo que generaría y la participación ciudadana en el cuidado del medioambiente.

Como los resultados obtenidos corresponden a un estudio de pre-factibilidad del proyecto, ahora, ya conocidos, es necesario realizar un análisis mediante el uso de herramientas más amplias y/o de información más precisa para generar una decisión definitiva sobre la realización del proyecto.

6 CONCLUSIONES

En este estudio se evaluó la factibilidad de instalar una planta capaz de reciclar los neumáticos fuera de uso, generados en la Conurbación La Serena – Coquimbo, para posteriormente producir materia prima con el fin de suplir necesidades y de abastecer un mercado determinado.

En la Zona Norte del país no existe una Planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso, lo que hace atractivo el proyecto considerando que la zona se caracteriza por la cantidad de Mineras que en ella están situadas.

Se determinó que existe un potencial de ganancia, entregándole valor agregado, a la eliminación de residuos que no tienen mayor solución que desecharlos, enterrarlos o simplemente incinerarlos.

Con la implementación de la planta, se generarían fuentes de trabajo, directas e indirectas, aumentando la empleabilidad en la Región, puesto que ésta brindaría trabajo a gente de la zona disminuyendo, a su vez, el 15,2% de desocupación.

El proyecto produciría caucho granulado, producto de importación, ahorrando divisas al país, disminuyendo los impactos de extracción, transformación y transporte y los riesgos asociados de otros países.

Se determinó la factibilidad del proyecto, lo cual se cumplió mostrando resultados positivos. El proyecto es rentable y viable.

Respondiendo a su principal propósito, el proyecto contribuiría a solucionar un problema medioambiental descongestionando los vertederos clandestinos, los acopios en vulcanizaciones, talleres, terrenos particulares en general, carreteras y caminos, evitando la generación de enfermedades y contaminación por acumulación de líquidos que se

transforman en gases tóxicos.

Finalmente, el reciclaje de NFU conllevaría a la generación de más industrias complementarias al tratamiento, lo que implicaría, además del crecimiento económico de la industria, un gran aporte a la sustentabilidad social de la Región.

7 REFERENCIAS

- BACA Urbina, Gabriel. Evaluación de proyectos. 4ta Edición México, McGraw-Hill, 2001. 404 p.
- CADENAS, Nigme. Recuperación de caucho a partir de neumáticos fuera de uso. Memoria (Constitución de empresa con alta producción social y mejoras en la calidad ambiental y de vida de la población). Venezuela, 2014. 28 h.
- CORPORACIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE (CHILE). Diagnostico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso. 2008.
- DAVID Campusano Brown, Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas Asfálticas en caliente mediante proceso seco. Memoria (Título de Ingeniero Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2006. 116 h.
- DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. BuenosAires,Argentina.<
http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf>
- FLEXICON. Equipos y sistemas de manejo de materiales a granel. Caucho Granulado. DescripciónGeneral. Santiago, Chile. <
<http://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Caucho-Granulado.html>
- Gobierno de Chile, Ministerio de Chile. Evaluación económica, social y ambiental de la implementación de la Ley REP en Chile. [en línea]. 2011.
- LEY N° 20. 920. de Responsabilidad Extendida del Productor Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 1 de junio de 2016.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (CHILE). Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile. 2011.

- OLIVARES Carmona, Daniel. Planta de reciclaje de neumáticos de caucho. Comercialización de miga de caucho. Tesis (grado de Magister en Administración). Antofagasta, Chile. Universidad de Chile, Postgrado Economía y Negocios, 2016. 56 h.
- RENECAI. Ficha técnica de producto (FTP). Palencia, España. <
[http://www.renecal.com/documents/Ficha%20tecnica%20de%20producto%20\(ftp\).pdf](http://www.renecal.com/documents/Ficha%20tecnica%20de%20producto%20(ftp).pdf)>
- SAMARAEZ CHEMICAL CONSULTING, S.L. Reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso (NFUs). Trituración Mecánica. Alicante, España. <
http://www.samaraez.com/archivos/KnowHow.Reciclaje_Neumaticos_E_I_.pdf>
- SAPAG Puelma, José Manuel. Evaluación de proyectos: Guías de ejercicios, problemas y soluciones. 2da Edición México, McGraw-Hill, 2012. 347 p.
- SII. Chile. < <http://homer.sii.cl/>>
- TECNICAS DE GESTIÓN Y MAQUINARIA MEDIOAMBIENTAL, S.L. Planta para el reciclaje de neumáticos. España. < <http://www.unoreciclaje.com/proyectos-para-el-reciclaje/reciclaje-llantas-goma-neumaticos.php>>
- TNU. (2014). Memoria. Recuperado de: <http://www.tnu.es>.
- VIVEROS Villa, Jorge. Estudio de prefactibilidad de una planta generadora de materia prima a base de neumáticos desechados. Seminario de título (título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica). Concepción, Chile. Universidad del Bio Bio, Facultad de Ingeniería, 2015. 115 h.
- <https://es.scribd.com/document/350368546/Articles-55497-EvaluacionEconomicaAmbientaSocial-REP-Chile>

8 ANEXOS

ANEXO 1

**Extracto de la evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la
REP en Chile. Neumáticos fuera de uso (2011)**

4 NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU)

4.1 Diagnóstico - Caracterización del producto y gestión de residuos

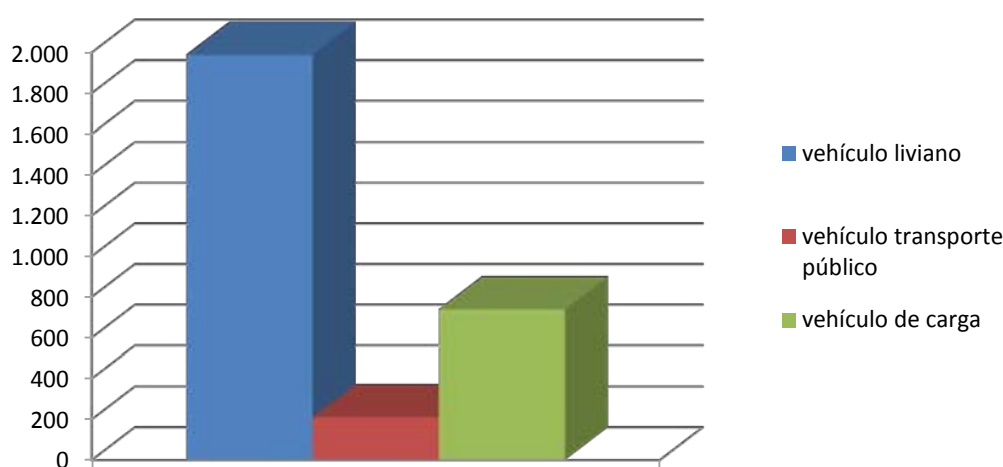
4.1.1 Descripción del producto y su mercado

4.1.1.1 Caracterización del producto

El presente diagnóstico se restringe a neumáticos de vehículos livianos (autos, camionetas), buses y camiones, todos asociados al tránsito en carretera².

Durante el año 2008 se comercializaron aproximadamente 3 millones de este tipo de neumáticos en Chile; su forma de uso se visualiza en la siguiente figura.

Figura 1: Neumáticos comercializados según tipo (Miles de unidades año 2008)



Fuente: Diagnóstico NFU 2008, CyV Medioambiente (datos actualizados por ECOING)

La vida útil de los neumáticos depende principalmente de la calidad del producto y de los kilómetros recorridos; en términos promedios se han determinado los siguientes factores de recambio³:

- Vehículos livianos: 0,8 neumáticos / año (vida útil: 4 a 5 años)
- Vehículos de carga: 4 neumáticos / año
- Vehículos de transporte público: 4 neumáticos / año

4.1.1.2 Organización del mercado

Las principales marcas comercializadas, que representan cerca del 60% del mercado, son: Goodyear, Michelin, Bridgestone/Firestone y Pirelli. En el año 2007 estas empresas formaron la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC). Además, existe una amplia variedad de producto de origen asiático. Sobre el 95% de los neumáticos es importado, el resto del mercado es abastecido por una planta en Chile (Goodyear). El valor promedio de las unidades comercializadas es de alrededor de 40 dólares CIF, según los antecedentes de importación.

² Hasta Aro 24.

³ Sin considerar una prolongación de la vida útil por recauchaje.

A nivel nacional se identificó un total de 667 locales de venta, correspondientes a 308 empresas distribuidoras; la mayoría de los locales de venta (463 locales, 69%) se encuentran asociado a las empresas productoras que conforman la CINC.

La comercialización por rubro y zonas se visualizan en las siguientes figuras.

Figura 2: Comercialización de neumáticos por rubro

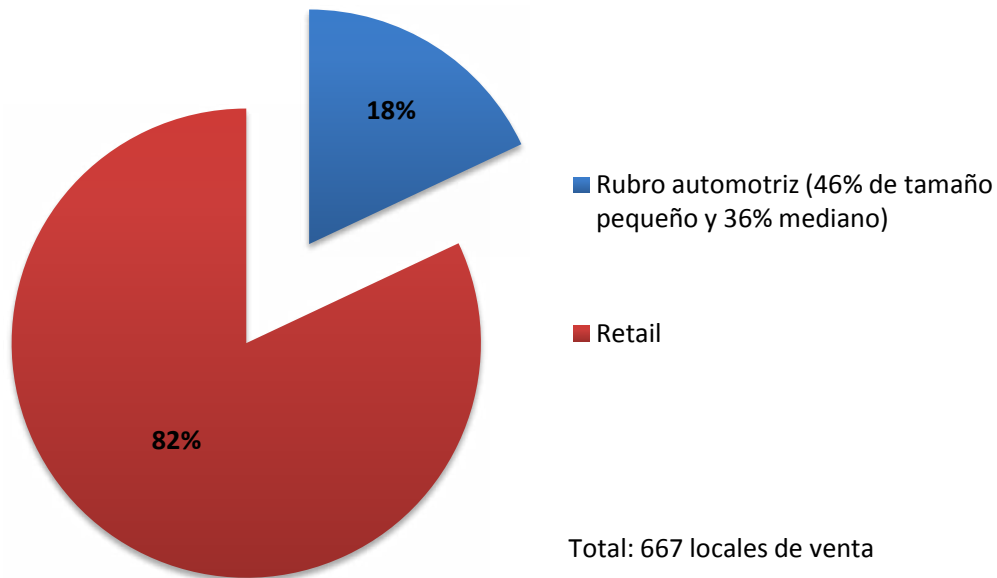
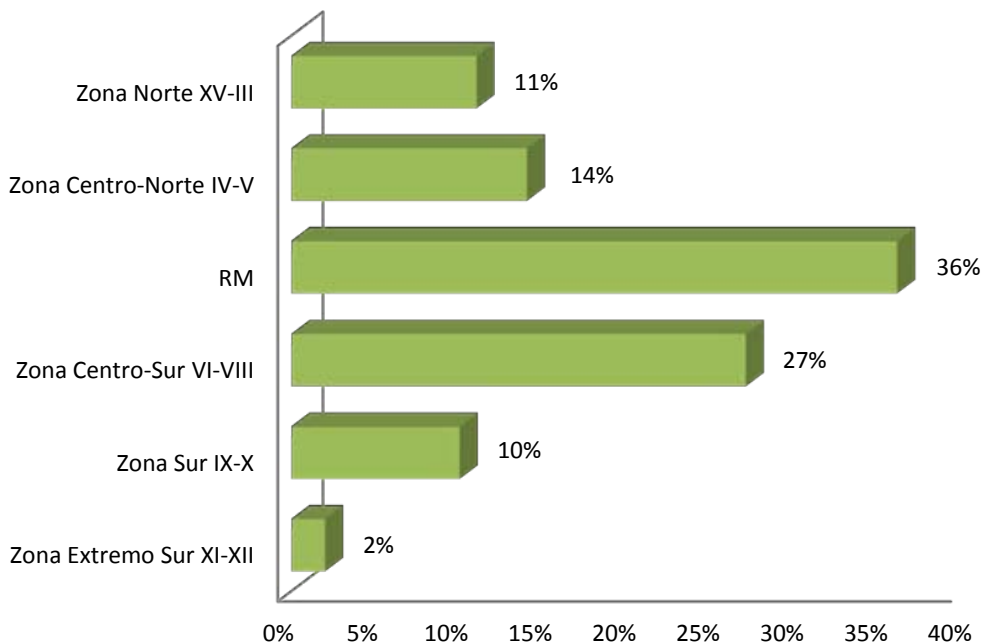


Figura 3: Comercialización de neumáticos por zona



Dado lo anterior, se puede concluir que dentro de un radio de 500 km desde Santiago, se transporta y comercializa aproximadamente el 77% de los productos, equivalentes a 2,3 millones de neumáticos anuales.

4.1.1.3 Mercado informal

Se ha detectado un **mercado informal** respecto al neumático usado en: actividades de redibujado de neumáticos, además de su reventa en ferias libres, mercados persas y otros (con o sin iniciación de actividades). Se estima que esta comercialización informal no es relevante en comparación a la venta formal y en vista a la implementación de la REP.

4.1.1.4 Proyección del mercado

Siguiendo la evolución del parque vehicular, que sobrepasaría los 4,5 millones de unidades al 2020, se proyectan las siguientes unidades de recambio neto por año:

Tabla 7: Estimación del Recambio Anual de Neumáticos

Año	Neumáticos N°	Valor US\$
2008	3.094.951	113.960.000
2015	3.749.000	149.964.000
2020	4.561.000	182.454.000

Fuente: Diagnóstico NFU 2008, C y V Medioambiente (datos actualizados por ECOING)

4.1.2 Gestión actual de los residuos (NFU)

4.1.2.1 Cantidades y características de los residuos

Al desgaste de un neumático, generalmente se efectúa su **recambio**, generándose el neumático fuera de uso (NFU). No obstante, en el caso de los vehículos de carga y transporte público es común hacer un **recauchaje** de los neumáticos, lo que permite una prolongación de su vida útil y su reuso por un período mayor⁴. En este caso, recién después de su reuso se generan los residuos.

Tabla 8: Cantidades de recambio, recauchaje y generación de NFU (año 2008)

Tipo de neumático	Recambio		Recauchaje		NFU		
	Unidades	ton	Unidades	Ton	Unidades	ton	% (peso)
Vehículo liviano	2.127.743	17.660	0	0	2.127.743	17.660	37%
Transporte público	180.132	8.223	36.026	1.645	144.106	6.578	14%
Vehículo de carga	787.076	35.930	275.477	12.576	511.599	23.355	49%
Total	3.094.951	61.813	311.503	14.220	2.783.448	47.593	100%
%	100%	100%	10%	23%	90%	77%	-

Fuente: Diagnóstico NFU 2008, C y V Medioambiente (datos actualizados por ECOING)

4.1.2.2 Manejo actual de residuos

Generalmente, el recambio de los neumáticos se efectúa en talleres mecánicos especializados, sean estos externos, como en el caso de los vehículos particulares, o propios, como en caso de las empresas de transporte y carga, pero también se generan NFU en desarmaduras y vulcanizaciones. La gran mayoría (aprox. 85%) de los NFU generados termina en algún destino desconocido.

Como los NFU prácticamente no tienen un valor comercial, éstos son acopiados o entregados

⁴ Un 20% de neumáticos de buses y un 35% de camiones de carga se recaucha (Fuente: Diagnostico NFU 2008, CyV Medioambiente).

(en algunos casos contra un pago) para deshacerse de ellos, terminando en grandes acopios, vertederos ilegales de residuos sólidos (VIRS) o microbasurales. Especialmente los servicios públicos mantienen grandes acopios o bodegajes de NFU, por ejemplo en instalaciones municipales y recintos militares. También se registran quemas de NFU como control de heladas en la agricultura⁵. En Chile no existen lugares autorizados para la **disposición final** de los NFU; al 2008 sólo existía un sitio público autorizado para el **acopio** de los NFU (comuna La Pintana).⁶

Las únicas actividades relacionadas con la **recuperación** de los NFU y la disminución de los residuos son:

- Recauchaje: de neumáticos de vehículos de mayor tamaño.
- Valorización energética: Uso como combustible alternativo en una planta cementera.
- Uso directo en infraestructura: Muros de contención para el control de erosión, control de cárcavas en la agricultura, delimitaciones y otras construcciones.
- Uso en rellenos sanitarios: Como protección de taludes impermeabilizados.

Tabla 9: Cantidades y destinos de los NFU en Chile (año 2008)

Destino de los NFU	N° / año (base 2008)	Ton / año (base 2008)	% / Destino de residuos
Neumáticos recambiados	3.094.951	61.813	
Recauchaje	311.503	14.220	
Total NFU	2.783.448	47.593	100%
Destino desconocido (no determinable)	2.379.448	40.309	84,70%
Recuperación:			
Valorización energética	134.000	2.244	4,71%
Uso directo en infraestructura	120.000	2.000	4,20%
Uso en rellenos sanitarios	150.000	3.040	6,39%
Total recuperados	404.000	7.284	15,30

Fuente: Diagnóstico NFU 2008, CyV Medioambiente (datos actualizados por ECOING)

4.1.2.3 Rol del sector informal en la gestión de residuos

El recolector o reciclador primario no juega un rol importante en la gestión del NFU, dado su bajo valor comercial y su tamaño y peso a transportar. No obstante, existe un mercado relevante relacionado con el transporte (mediante camiones) y la disposición final ilícita de los NFU.

4.1.2.4 Costos actuales de la gestión de residuos

Los únicos costos asociados a la actual gestión de los NFU se relacionan con el transporte (\$17.000 a \$20.000/ton en tramos cortos (hasta 150 km) y la valorización energética en plantas cementeras (\$50.000/ton en promedio).

⁵ Esta práctica está prohibida por las Secretarías Regionales Ministeriales en varias regiones del país.

⁶ Aunque fuera del alcance del presente estudio, cabe mencionar que existen varios acopios autorizados en el sector minero.

4.1.2.5 Iniciativas de gestión integral de residuos

Los **productores** de los neumáticos están desarrollando un **Acuerdo de Producción Limpia** y han comenzado a implementar planes de retiro y transporte de NFU, financiados por ellos mismos, desde distribuidoras en las distintas regiones del país, principalmente para su envío a valorización energética.

Además, existen los siguientes proyectos de otras **empresas privadas**:

- Tres proyectos de valorización energética de NFU en plantas cementeras (uno de ellos funcionando).
- Tres rellenos sanitarios utilizando NFU para protección de taludes.
- Proyectos pilotos para el uso del caucho en asfaltos, a través del Ministerio de Obras Públicas (MOP).
- Dos proyectos de trituración de NFU en la zona central, uno con resolución de calificación ambiental aprobada.

En el sector público, se han detectado las siguientes iniciativas:

- Municipalidades: El municipio de La Pintana posee un sitio autorizado de acopio de NFU y la comuna de La Reina hace recolección en talleres y vulcanizaciones. La Municipalidad de Santiago acumula sus NFU en talleres municipales y en regiones se usan neumáticos para juegos y jardines en plazas (Arica, Iquique, La Pintana, Talcahuano y otras).
- Colegios: El Liceo Industrial de San Fernando se destaca como un buen ejemplo de prácticas educativas asociadas a la REP, donde se ha sensibilizado en el tema de NFU. No obstante, no hay contenidos específicos contemplados en los programas de la enseñanza básica y media.
- Ejército: Ha comenzado a gestionar sus NFU mediante su entrega a proveedores.

4.1.2.6 Proyección de la generación de NFU

De acuerdo a las condiciones de recambio, se puede estimar la generación de unidades de NFU y su tonelaje correspondiente al año 2015 y 2020, según lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 10: Proyección de la generación de NFU

Año	NFU (Unidades)	NFU (Ton)
2008	2.783.448	47.593
2015	3.662.151	65.795
2020	4.455.340	80.046

4.1.3 Aspectos Ambientales

4.1.3.1 Análisis del ciclo de vida de los neumáticos

De acuerdo al análisis del ciclo de vida de neumáticos⁷, la etapa más crítica corresponde al uso del producto, dado que involucra los mayores consumos de energía, insumos y generación de CO₂. Considerando sólo el último segmento del ciclo, a partir de la generación de los NFU (residuos), la etapa más crítica corresponde a la disposición de los NFU en “destino desconocido”, dado el muy alto porcentaje que sigue esa vía.

4.1.3.2 Impactos ambientales de los NFU

Los NFU se clasifican como residuo no peligroso, y en general presentan un bajo impacto. Sin embargo, existen potenciales riesgos y daños por su gestión inadecuada, entre los que se cuentan:

⁷ Se analizó el ciclo de vida a partir del ingreso del neumático al país.

- Los NFU son residuos voluminosos. Su forma e impermeabilidad les permite actuar como un depósito, captando y acumulando agua, creando un ambiente propicio para la reproducción de mosquitos y roedores. Existe el riesgo de transmisión de enfermedades, tales como malaria, fiebre amarilla y dengue, lo que sustenta la resolución del Ministerio de Salud de no permitir el ingreso a Chile de NFU.
- Los acopios o depósitos de neumáticos, que generalmente corresponden a lugares no controlados en la zona rural, atraen la disposición de otros tipos de residuos, formándose microbasurales o basurales clandestinos.
- La quema ilegal de neumáticos, por combustión incontrolada, tiende a producir cantidades importantes de hidrocarburos (negro de humo espeso) y emisiones nocivas para la atmósfera y la calidad del aire, entre ellas dioxinas y furanos.

4.1.3.3 Potencial de recuperación de materias secundarias

Tabla 11: Recuperación actual de NFU y potencial de recuperación (año 2008)

Material	Contenido (ton/ton)	Cantidad total (ton)	Recuperación actual (ton)	Potencial de recuperación (ton)
Caucho y aditivos	0,80	38.074	5.827	32.247
Acero	0,15	7.139	1.093	6.046
Fibra textil	0,05	2.380	364	2.016
Total	1,00	47.593	7.284	40.309

Fuente: Elaboración propia, ECOING, basado en Diagnóstico NFU 2008, C y V Medioambiente

Observando la tabla anterior, hay un potencial de recuperación adicional de más de 32.000 toneladas de gránulo de caucho y más de 6.000 toneladas de acero.

4.1.4 Aspectos sociales - Percepción de actores ante la implementación de la REP

De acuerdo a entrevistas efectuadas a los **productores** y un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), su motivación para emprender la recuperación de NFU se basa fundamentalmente en aspectos de imagen y las políticas de las casas matrices ubicadas en países con REP o con altos estándares ambientales. No obstante, es generalizada la opinión de que, dado el bajo valor comercial de los NFU y la falta de reglamentación clara, actualmente no se estimula un adecuado manejo de los residuos ni las inversiones para el establecimiento de nuevas alternativas de valorización. Un factor clave sería crear un mercado o uso interno del caucho reciclado en Chile.

De acuerdo a las encuestas de percepción aplicadas a los **consumidores**, un 100% estaría dispuesto a devolver los neumáticos para que este sistema funcione; el 82% preferiría adquirir productos acogidos a la REP y el 89% estaría dispuesto a pagar entre 1 a 5% adicional al valor del producto.

4.1.5 Conclusiones del diagnóstico

- El recauchaje reduce la cantidad de residuos en un 23% (en peso).
- Descontando lo anterior, se generan aproximadamente 47.500 toneladas de NFU al año, equivalente a 0,18 NFU/habitante-año.⁸
- Casi el 50% de los NFU provienen de vehículos de carga (camiones), seguidos por vehículos livianos (37%).

⁸ En comparación: En la Unión Europea se genera 1 NFU/habitante-año (Fuente: REAL DECRETO 1619/2005).

- El 85% de los NFU generados en Chile terminan en un “destino desconocido”.
- Los principales impactos ambientales se generan durante la etapa de uso del neumático, seguidos por la etapa de eliminación del NFU, y se relacionan con las emisiones de CO₂ (cambio climático) y el uso de energía.
- El sector informal no juega un rol importante respecto a la recuperación o valorización de los NFU. No obstante, existe un mercado relevante relacionado con el transporte y la disposición final ilícita de los NFU.
- Existe una percepción y actitud positiva de parte de los productores, importadores y consumidores acerca de la implementación de la REP.
- Existen iniciativas de recuperación de los NFU ya en desarrollo por parte de productores mayoritarios del mercado y de gestores de residuos, que potencian la implementación de la REP.

4.2 Evaluación de los impactos

A continuación, se evalúan los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a la implementación de la REP para NFU en Chile.

4.2.1 Definición de escenarios y metas de recuperación de NFU

4.2.1.1 Sistema supuesto de recogida, acopio y transporte

Para la evaluación de los impactos se supone⁹:

- En Chile ya existe un **sistema de entrega, recambio y acopio local** de los NFU a través de talleres mecánicos, servitecas y distribuidores locales. También los generadores grandes de NFU con talleres propios, por ejemplo empresas de transporte público y de carga o instituciones del Estado, actualmente están acopiando sus NFU en algún lugar. Cabe mencionar que, en el marco del APL de NFU, CINC está iniciando la recolección de los NFU en las regiones RM, V y VI y ya tiene un universo 280 potenciales “Ecopuntos” instalados.
- Con la implementación de la REP y la creación de nuevas plantas de valorización de los NFU, cambiará el destino de las mismas, para lo cual se supone la implementación de **15 centros de acopio centralizados**, un mejoramiento del **sistema de transporte local** y además un nuevo sistema de **transporte interregional**.
- Además, se prevé un **retiro a empresas e instituciones grandes** en caso de grandes cantidades, mediante solicitud telefónica.
- Como medidas complementarias, se considera la posibilidad de una **disposición y retiro en la calle**, mediante campañas municipales (“día municipal del reciclaje”), y la entrega en **70 centros de acopio municipales** previstos para las ciudades con más de 100.000 habitantes.

⁹ Ver también supuestos en capítulo 2 “Esquema de evaluación”.

Tabla 12: Sistemas de recolección, acopio y transporte supuestos para NFU

N°	Sistema	Descripción
1	Retiro a empresas e instituciones grandes (Solicitud telefónica de grandes cantidades)	Camión abierto > 20 ton, con chofer y 2 peonetas. Se supone retiro de NFU sueltos y transporte directo al destino final.
2	Disposición y retiro en la calle ("Día municipal del reciclaje")	Camión abierto < 10 ton, con chofer y 2 peonetas. Se supone recolección junto a otros residuos y transporte hacia el centro de acopio municipal.
3	Recambio y acopio en talleres automotrices y servitecas	Se supone que los lugares de acopio de los talleres ya existen. Retiro a granel / suelto en camiones abiertos de diferentes tamaños, con chofer y 2 peonetas. Transporte a centro de acopio del productor o directamente al destino final.
4	Entrega en centros de acopio municipales	Centros de acopio (junto a otros residuos), con sector de acopio a granel y una persona compartida. Transporte como en Ítem N° 2.
5	Entrega en centros de acopio del productor	Terreno cercado para el acopio temporal en cada región, con 4 personas. Transporte en camión abierto > 20 ton a destino final.

4.2.1.2 Destinos supuestos para los residuos recogidos

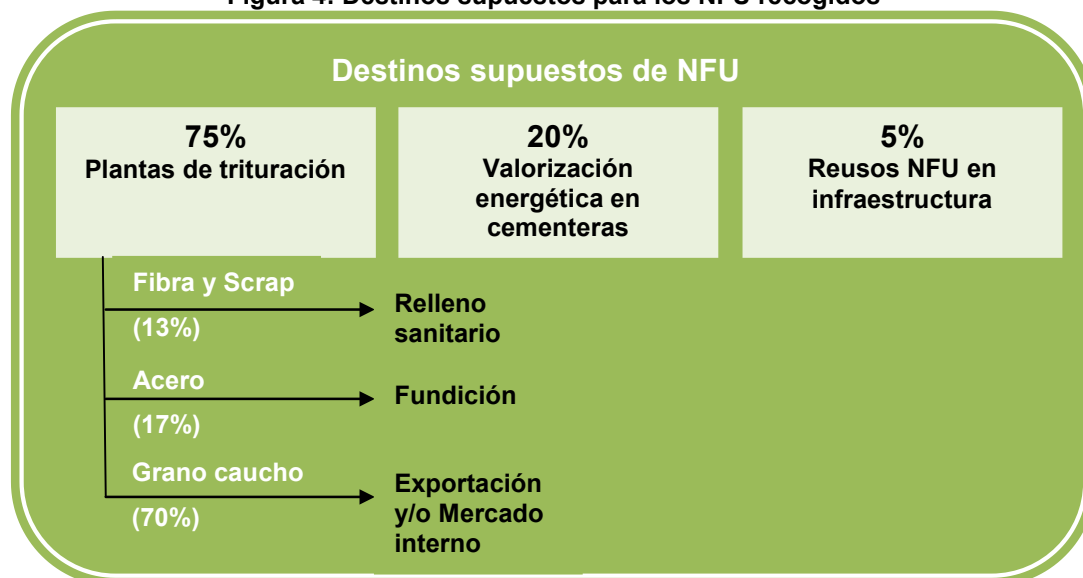
Para la evaluación de los impactos se supone los siguientes destinos¹⁰:

- **Valorización energética en cementeras:** Sólo se considera la planta CEMENTO MELÓN de Calera, V Región, que puede reemplazar hasta un 20% del combustible mediante NFU (hasta 12.450 ton/año).
- **Uso de NFU en infraestructura:** Se supone como máximo un 5% de los NFU generados.
- **Trituración NFU:** Se supone la entrada en funcionamiento de la planta de POLAMBIENTE en Santiago (capacidad inicial: 7.200 ton/año; proyectada: 14.000 ton/año) y paulatinamente de otras de parecidas características en las regiones II, V y VIII.
- **Venta de material recuperado mediante trituración:** El acero recuperado se comercializará como chatarra al precio de mercado internacional; el caucho recuperado reemplazará a la demanda en Chile (hoy se importan 2.000 a 2.500 ton/año), se exportará y/o se usará para otros destinos en Chile; la fracción de fibra y scrap aún no posee valor y se destina a relleno sanitario. Para efectos de cálculo, se considera que una **planta tipo** tiene 2 líneas de producción de 10.000 toneladas cada una y un grado de eficiencia de 75%.

Basándose en lo anterior y para efectos de la evaluación, se determinó la siguiente distribución de los destinos para los NFU recogidos.

¹⁰ Ver también supuestos en capítulo 2 "Esquema de Evaluación".

Figura 4: Destinos supuestos para los NFU recogidos



Fuente: Elaboración propia, ECOING¹¹

4.2.1.3 Escenarios y metas de recuperación de NFU

Tomando en cuenta las consideraciones y supuestos anteriores, y lo expuesto en el capítulo 2 “Esquema de evaluación”, se determinaron los siguientes escenarios, metas de recuperación y destinos de los residuos para la evaluación de los impactos¹²:

Tabla 13: Metas de recuperación y destinos de NFU por escenario

Ítem	Recuperación actual	Escenario 1		Escenario 2	
	2008	Meta 2015	Meta 2020	Meta 2015	Meta 2020
Meta de recuperación (%)	16%	40%	60%	50%	80%
Cantidades de NFU recogidos (ton)	7.200 ton	26.000 ton	48.000 ton	33.000 ton	64.000 ton
Cantidades de NFU recogidos (Nº)	418.000 unidades	1.465.000 unidades	2.673.000 unidades	1.831.000 unidades	3.565.000 unidades
Destinos proyectados (ton)	<ul style="list-style-type: none"> • Valorización energética en cementeras: 2.244 ton • Uso de NFU en infraestructura: 2.000 ton • Trituración NFU: 0 ton 	<ul style="list-style-type: none"> • Valorización energética en cementeras: 5.200 ton • Uso de NFU en infraestructura: 1.300 ton • Trituración NFU: 19.500 ton (3 líneas de producción en 2 plantas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Valorización energética en cementeras: 9.600 ton • Uso de NFU en infraestructura: 2.400 ton • Trituración NFU: 36.000 ton (5 líneas de producción en 3 plantas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Valorización energética en cementeras: 6.600 ton • Uso de NFU en infraestructura: 1.650 ton • Trituración NFU: 24.750 ton (4 líneas de producción en 2 plantas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Valorización energética en cementeras: 12.800 ton • Uso de NFU en infraestructura: 3.200 ton • Trituración NFU: 48.000 ton (7 líneas de producción en 4 plantas)

¹¹ Porcentajes de recuperación basados en UNEP/CHW 2008.

¹² Los escenarios y metas de recuperación se consensuaron con productores, empresas gestores de residuos, CONAMA y otros actores.

Tabla 14: Balance de masa por destino de NFU y escenario

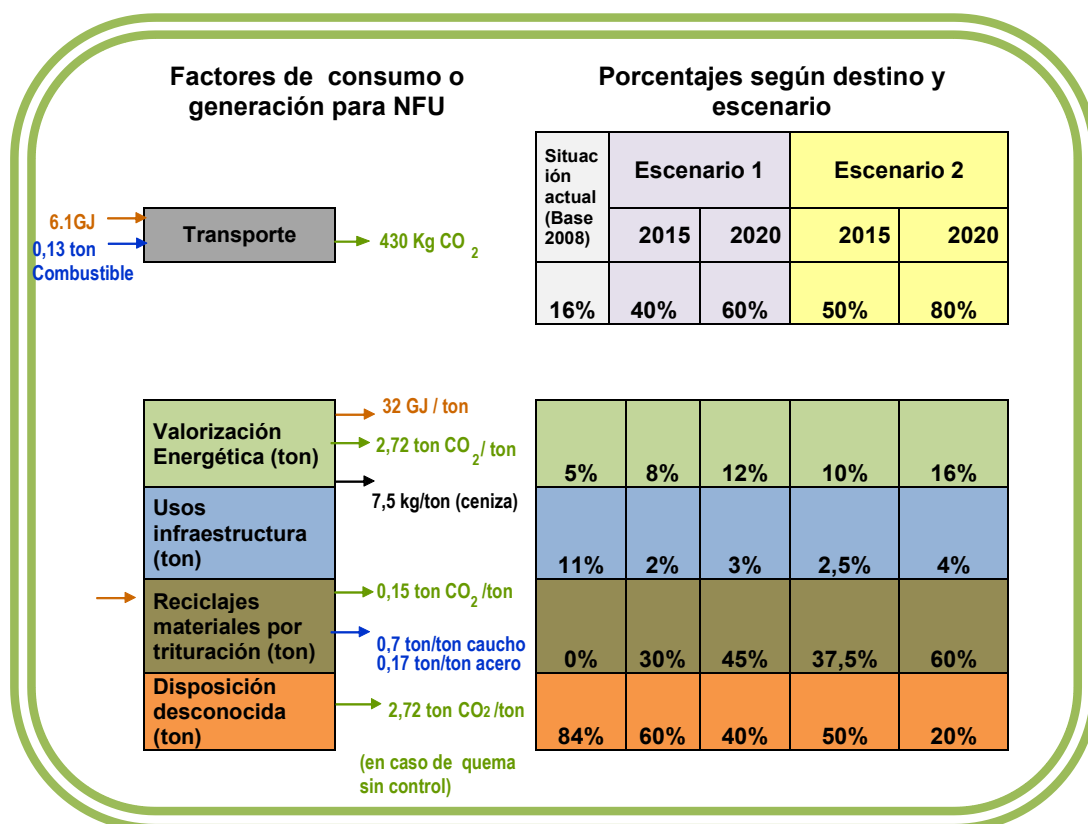
NFU	Valor base	Escenario 1		Escenario 2	
	2008	2015	2020	2015	2020
Datos base					
Total NFU (ton)	47.593	65.795	80.046	65.795	80.046
Meta de recuperación (%)	-	40	60	50	80
NFU recogidos (ton)	7.200	26.000	48.000	33.000	64.000
Destino desconocido (ton)	40.393	39.795	32.046	32.795	16.046
Destinos supuestos de NFU recogidos					
Valorización energética (ton)	2.244	5.200	9.600	6.600	12.800
Usos en infraestructura (ton)	2.000	1.300	2.400	1.650	3.200
Trituración (ton)	0	19.500	36.000	24.750	48.000
Recuperación de principales materias primas secundarias desde trituración					
Fibra y scrap (ton)	0	2.535	4.680	3.218	6.240
Acero recuperado (ton)	0	3.315	6.120	4.208	8.160
Grano caucho recuperado (ton)	0	13.650	25.200	17.325	33.600

4.2.2 Impactos Ambientales

4.2.2.1 Análisis del ciclo de vida

Aplicando los datos del balance de masa en el análisis del ciclo de vida de los NFU, se obtienen los siguientes resultados para energía (GJ), emisión de dióxido de carbono (ton CO₂) y la generación de productos y residuos (ton) por tonelada de los NFU recuperados:

Figura 5: Análisis del ciclo de vida de los NFU



Respecto a la emisión de dióxido de carbono relacionado con la disposición final de los NFU en destinos desconocidos, se aplica el supuesto que estos son quemados sin control.

4.2.2.2 Recuperación de materia prima secundaria

De acuerdo al análisis anterior, se proyecta un cambio importante en el sistema de eliminación actual de los NFU, rebajándose el "destino desconocido" desde 84% a 40% en el escenario 1 y a 20% en el escenario 2. Además, se reintegra una cantidad importante de acero y granulo de caucho al mercado de materias primas, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 15: Recuperación de materia prima secundaria por valorización de NFU

NFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Trituración (ton)	0	19.500	36.000	24.750	48.000
Acero recuperado (ton)	0	3.315	6.120	4.208	8.160
Grano caucho recuperado (ton)	0	13.650	25.200	17.325	33.600
Scrap (ton)	0	2.535	4.680	3.218	6.240

4.2.2.3 Variación en el uso de energía

Tabla 16: Ahorro de energía por valorización de NFU

NFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Ahorro directo de energía por valorización energética (GJ)	76.149	166.400	307.200	211.200	409.600
Ahorro indirecto de energía por recuperación de acero (GJ)	0	59.670	110.160	75.735	146.880
Ahorro indirecto de energía por recuperación de caucho (GJ)	0	72.345	133.560	91.823	178.080

La **valorización energética de los NFU** permite un importante ahorro de energía (combustible alternativo), estimado al año 2020 en más de 300.000 GJ en el escenario 1 y de 400.000 GJ en el escenario 2.

Respecto al **acero**, se puede ahorrar 18 GJ¹³ por cada tonelada reciclada, llegando al año 2020 a 110.000 GJ en el escenario 1 y a 146.000 GJ en el escenario 2.

La recuperación del **caucho** permite ahorrar 5,3 GJ/ton¹⁴ de energía en comparación a su producción, equivalente al año 2020 a 133.000 GJ en el escenario 1 y a 178.000 GJ en el escenario 2.

¹³ Fuente: basado en BIRD 2008

¹⁴ Fuente: www.iea.org.

4.2.2.4 Variación en la generación de dióxido de carbono

Tabla 17: Reducción de emisiones de CO₂ por valorización de NFU

NFU	Situación actual (2008)	Escenario 1		Escenario 2	
		2015	2020	2015	2020
Reducción de emisiones directas de CO ₂ por trituración (ton)	0	50.115	92.520	63.608	123.360
Reducción de emisiones indirectas de CO ₂ por recuperación de acero (ton)	0	7.127	13.158	9.047	17.544
Reducción de emisiones indirectas de CO ₂ por recuperación de caucho (ton)	0	3.686	6.804	4.678	9.072

Comparando la quema sin control de los NFU con la recuperación de los materiales mediante plantas de **trituración**, se obtendría reducciones muy importantes de CO₂ (ver primera fila de la tabla anterior).

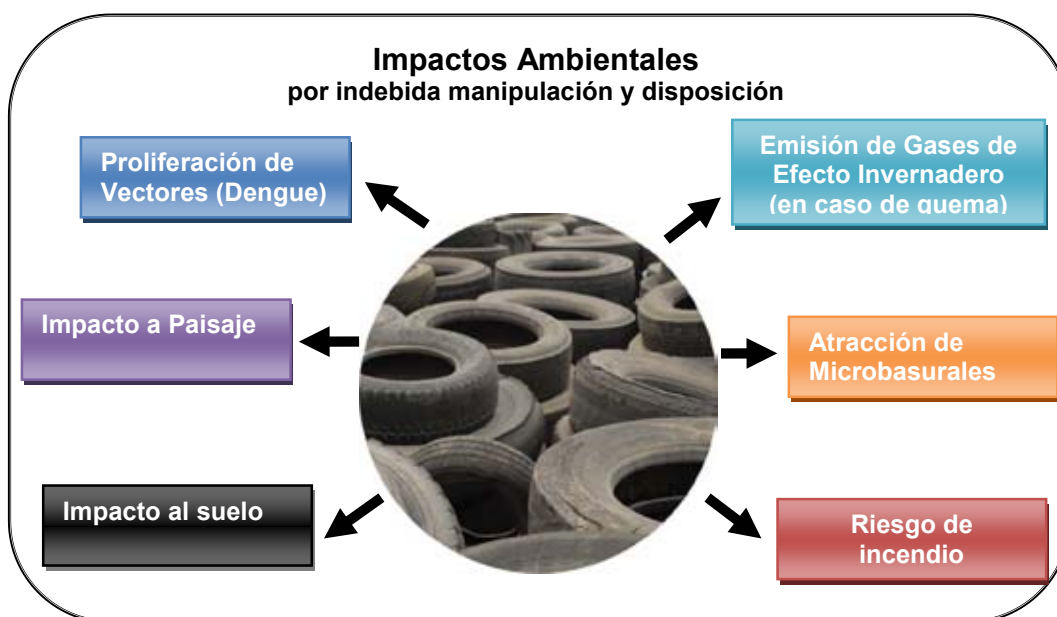
El reciclaje de cada tonelada de **acero** reduce las emisiones en 2,15 ton CO₂/ton¹⁵, equivalente al año 2020 a más de 13.000 ton CO₂ en el escenario 1 y a 17.500 ton CO₂ en el escenario 2.

La recuperación del **caucho** reduce las emisiones indirectas en 0,27 ton CO₂/ton¹⁶, equivalente al año 2020 a 6.800 ton CO₂ en el escenario 1 y a 9.000 ton CO₂ en el escenario 2.

4.2.2.5 Otros impactos ambientales

La implementación de la REP disminuye además los siguientes impactos ambientales:

Figura 6: Reducción de impactos ambientales por implementación de la REP



¹⁵ Fuente: BIRD 2008.

¹⁶ Fuente: OECD/IEA 2007

4.2.3 Impactos Sociales

En la siguiente figura se identifica los principales impactos sociales relacionados con la implementación de la REP para NFU.

Figura 7: Resumen de los impactos sociales



En el **Área cultural**, los principales impactos asociados a la implementación de la REP son:

- Cambio de **mentalidad y hábitos en los consumidores**: Elección de productos eco-etiquetados; disciplinamiento y compromiso con la REP (entregar NFU en puntos de acopio, por ejemplo).
- Instalar el tema en la **agenda pública** y en los **medios de comunicación masivos**.
- Cambio de **mentalidad de grupos empresariales**: Compromiso con la sustentabilidad a través del ecodiseño (por ejemplo, a través de la producción/importación de neumáticos de calidad); interés en el nuevo mercado e inversión asociada (por ejemplo, instalación de nuevas plantas de trituración); creación de una estrategia sustentable común; establecimiento de redes formales con municipios; incorporación de su rol como educador y responsabilidad social-empresarial.

En el **Área socio-económica** y con la implementación de la REP se generan los siguientes impactos:

- **Beneficios socioeconómicos directos**: Los destinatarios, especialmente las **empresas de trituración de NFU**, verán asegurado su mercado, y se creará una nueva cadena de valor, incluido un nuevo sistema de recogida, acopio y transporte, generando nuevas fuentes de trabajo. Los **transportistas** actualmente existentes en el rubro de los NFU podrían formalizar su labor como PYME o micro PYME, y transportar los NFU desde servitecas o talleres menores hasta centros de acopio o directamente hacia las empresas de trituración. Además, se creará un nuevo rubro de transporte desde las futuras plantas de trituración hasta los destinatarios de los productos de esas empresas (acero, caucho y scrap o descarte). Participarán también los **Municipios** mediante centros de acopio previstos para ciudades con más de 100.000 habitantes, reduciendo así la problemática de

los vertidos ilegales. Respecto al **sector informal**, se estima que el reciclador primario prácticamente no participa en las actividades asociadas a la REP, debido al bajo valor comercial del NFU y la dificultad de transportarlos (por su volumen).

- **Beneficios socioeconómicos indirectos:** Disminución de los riesgos a la salud de las personas, minimización de los impactos ambientales y liberación de recursos económicos, debido a la implementación de un adecuado servicio de manejo de residuos (por ejemplo menos limpieza de microbasurales) y por la comercialización de productos de mejor calidad y mayor vida útil (se supone que la REP promueve el ecodiseño).
- **Costos socioeconómicos:** Costos por el traslado de NFU del consumidor a instalaciones para el almacenamiento en talleres automotrices, servitecas, acopios de privados o municipales.

El **Área desarrollo humano y local** plantea como principal impacto y beneficio general a nivel país una elevación de la calidad de vida, de forma directa e indirecta:

- Reducción de **impactos ambientales y a la salud** de las personas.
- Mejora en la **calidad de vida y desarrollo local**, dada la creación de una nueva cadena de valor de los NFU: generación de empleo, subida de ingresos, satisfacción de necesidades básicas, mejora de condiciones de trabajo, mejora de índices de desarrollo humano y bienestar general.
- Respecto al cumplimiento de las **condiciones de trabajo de acuerdo a los estándares internacionales**, -criterios de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización de la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)-, cabe destacar que éstas, por lo general, se cumplen en Chile. Por ende, en el país no existirían problemas relacionados con el trabajo infantil o discriminación de minorías, como lo señalan expresamente los dirigentes de recicladores primarios.

4.2.4 Impactos económicos

4.2.4.1 Supuestos de la evaluación

Para la evaluación de los impactos económicos se supone:

- Al momento de recibir los NFU por parte del generador de residuos, no se le cobra ni se le paga.
- La evaluación se realiza a partir de las condiciones nuevas que impone la aplicación de la REP: A parte del sistema de recogida, acopio y transporte, sólo se consideran los impactos asociados a la trituración, por cuanto la valorización en la planta cementera es un destino activo que no requiere inversiones adicionales y tiene incorporados sus costos de operación.
- Costos de transporte: Los flujos de transporte se basan en camiones con capacidad de transportar 420 neumáticos; el costo de transporte asociado es de \$20.000/ton en un radio de 150 km, de \$40.000 entre 150 a 500 km y de \$70.000/ton en un radio mayor a 500 km. A esto se agrega el costo de transporte de las materias primas secundarias de \$10.000/ton.
- Costo de acopio promedio: \$10.000/ton
- Costos de disposición de residuos generados en planta de trituración: \$2.600/ton procesada de NFU.
- Payback de las inversiones: 5 años, considerando una vida útil de las plantas de 10 años.
- El valor de comercialización de materia prima secundaria: Granulo de caucho: US\$ 350/ton; Acero US\$ 550/ton.¹⁷
- Tipo de cambio considerado: \$500/US\$.

¹⁷ Fuente: London Metal Exchange

4.2.4.2 Empleos brutos asociados a la REP

Para determinar el personal asociado a la implementación de la REP, se supone para ambos escenarios:

- Un sistema de **transporte local** que básicamente ya existe, requiriéndose agregar sólo algunos viajes desde los generadores hacia los centros de acopio.
- 15 **centros de acopio** del productor.
- **Acopios municipales** en 70 comunas del país en combinación con campañas específicas de recolección.
- Un nuevo sistema de **transporte interregional**, desde los centros de acopio hacia las plantas de reciclaje.
- La implementación paulatina de líneas de producción de **plantas de trituración**.
- Un nuevo servicio de **transporte de los productos** desde las plantas trituradoras.

Tabla 18: Empleos brutos adicionales asociados a la REP

Ítem	Escenario 1		Escenario 2	
	2015	2020	2015	2020
Transporte local	4	8	5	11
Transporte interurbano	18	32	21	42
Centros de acopio del Productor	60	60	60	60
Personal municipal	70	70	70	90
Planta de trituración	40	65	60	105
Transporte productos	9	16	11	21
Total empleo	201	251	227	329

4.2.4.3 Costos Económicos

Basado en lo anterior, se han determinado los siguientes costos para las **plantas de trituración**:

- Escenario 1: La **inversión** requerida al 2015 para las 3 líneas de producción es de \$4.080 millones de pesos, incluido el terreno asociado. La inversión al 2020 supone mayores requerimientos en terreno y líneas de proceso, incrementándose la inversión a un total de \$6.660 millones, para las 5 líneas de producción.
- Escenario 2: La **inversión** requerida al 2015 es de \$5.160 millones de pesos, y se incrementa al 2020 a un total de \$9.240 millones, para contar con las 7 líneas de producción.
- Para ambos escenarios, los costos de **operación** unitarios del proceso de trituración ascienden a alrededor de \$136.000 por tonelada, considerando 3 turnos y uno de ellos de mantención operativa.
- Los **costos de transporte y acopio** ascienden en conjunto a \$40.000 por tonelada en el escenario 1, lo que incluye además el costo asociado al transporte de los productos obtenidos. En el escenario 2, estos costos aumentan a \$43.000 por tonelada, dado que se requiere recorrer mayores distancias para cumplir la meta.

4.2.4.4 Resultados de la evaluación económica

Considerando los actuales valores de comercialización del granulo de caucho y de acero, el margen de operación resultante en ambos escenarios asciende a alrededor de \$33.000 por tonelada, con lo que se obtiene una **rentabilidad económica** de 16% anual al 2015 y mayor a 17% al 2020.

A modo de síntesis, la implantación de la REP desde la perspectiva económica tendrá beneficios en términos de la introducción de nuevas líneas productivas que generan valor.

Tabla 19: Síntesis comparativa de impactos económicos

Ítem	Escenario 1		Escenario 2	
	2015	2020	2015	2020
Inversión, millones de \$	4.080	6.660	5.160	9.240
Rentabilidad, % anual	16%	18%	16%	17,4%*
Empleo asociado, N°	201	251	222	329
Aporte al PIB, millones de \$		1.490		2.106
Impacto aumento del precio del producto, \$	0	0	0	0

* La diferencia en la rentabilidad entre ambos escenarios es que al año 2020 se operaría con una mayor capacidad ociosa en el escenario 2.

4.2.4.5 Impactos en precios de los productos

Dado que la actividad de trituración genera una rentabilidad de la inversión que supera el 15% en todos los escenarios, se puede asumir que no habrá modificaciones en los precios de los productos nuevos. Esto a partir del supuesto de que toda la producción de las plantas trituradoras se puede vender en el mercado interno o exportar.

4.2.5 Resumen de los impactos

En términos generales se puede concluir que la implementación de la REP bajo los escenarios evaluados es **factible de realizar** y que los **impactos resultantes se evalúan como positivos**.

Tabla 20: Resumen de Impactos por escenario al año 2020

Impactos	Unidad/ Año	Escenario 1 Año 2020	Escenario 2 Año 2020
Datos base			
Meta de recuperación	%	60	80
Meta de recuperación	ton	48.000	64.000
Capacidad neta requerida de plantas de trituración	ton	40.000	50.000
Impactos ambientales			
Recuperación de materia prima: Acero	ton	6.120	8.160
Recuperación de materia prima: Grano caucho	ton	25.200	33.600
Ahorro directo de energía (por valorización)	GJ	307.200	409.600
Ahorro indirecto de energía (producción desde material reciclado)	GJ	243.720	324.960
Reducción directa de Gases de Efecto Invernadero (por disminución de quema incontrolada)	ton CO ₂ eq	92.520	123.360
Reducción indirecta de Gases de Efecto Invernadero (producción desde material reciclado)	ton CO ₂ eq	19.962	26.616
Impactos positivos (no cuantificables)		Reducción de: Microbasurales, proliferación de vectores, riesgo de incendios, impactos a suelo y paisaje	
Impactos negativos (no cuantificables)		No se detecta	
Impactos sociales			
Empleos brutos generados	Nº	251	329
Impactos positivos (no cuantificables)		Nuevas cadenas de valor, renta empresarial, creación de empleo, mejoras laborales, aporte al PIB, adecuado manejo de residuos garantizado, Imagen país	
Impactos negativos / Costos socioeconómicos (no cuantificables)		Compromiso de entrega del consumidor (cambio de hábito), superficies de acopio requeridas, costos operacionales de municipios, esfuerzo de educación ambiental, dependencia del mercado de materiales recuperados, riesgos financieros	
Impactos económicos			
Inversión requerida en plantas de trituración	MM\$	6.660	9.240
Aporte al PIB	MM\$	1.490	2.106
Aumento en precio del producto (neumático nuevo)	\$	0	0

Traduciendo las cifras de la evaluación de impactos en elementos más concretos, se puede decir que la aplicación de la REP respecto a los NFU en condiciones del Escenario 1 al año 2020, implicaría anualmente:

- Reducir en más de 560.000 m³ los neumáticos acumulados y manejados inadecuadamente, lo que equivale a la cancha de fútbol del Estadio Nacional¹⁸ llena con neumáticos a una altura de 78 metros.

Lo anterior disminuye considerablemente los impactos por riesgo de incendio, atracción de microbasurales y vectores.

- Dejar de producir y/o importar 6.000 toneladas de acero, con todos los costos e impactos asociados que tiene la extracción minera, su refinación, producción y transporte.
- Producir más de 30.000 toneladas de caucho, ahorrando divisas al país, disminuyendo los impactos de extracción, transformación y transporte y los riesgos asociados de otros países.
- Reducir el consumo de energía convencional directa en 307.000 GJ, e indirecta en 244.000 GJ (acero y caucho) equivalentes al consumo de más de 14 millones de litros de combustible o a lo que consumen más de 6.000 automóviles en un año.
- Reducir la emisión de CO₂ (directa e indirecta) en más de 112.000 toneladas, equivalente a lo que consumen cerca de 375.000 árboles adultos.
- Invertir MM\$ 6.660 en plantas de trituración de NFU.
- Generar 250 fuentes de trabajo, de las cuales al menos el 50% es trabajo calificado.
- Aportar \$1.490 millones de pesos por año al PIB de Chile.

4.3 Recomendaciones para la implementación de la REP

Para la dictación del marco legal y la implementación de la REP para los NFU, se **recomienda**:

- Establecer una definición clara de los NFU, diferenciándolos de los residuos sólidos domiciliarios.
- Especificar quién y cómo responder a los “residuos históricos”, anteriores a la implementación de la REP, y los “residuos huérfanos”, cuyo productor no es identificable.
- Considerar la importancia del recauchaje certificado del neumático. Si bien no forma parte de la presente evaluación, el recauchaje es un proceso importante para aumentar la vida útil del neumático, resultando en una disminución de la generación de residuos.
- Crear un mercado interno para el caucho, con el fin de mantener un autofinanciamiento del sistema de recuperación de los NFU.
- El desarrollo de normas para asfalto que permitirán el uso del caucho en pavimentación.
- Investigar y fomentar otros usos del NFU.
- Considerar la incorporación de trozadoras móviles para optimizar el transporte.

¹⁸ Superficie: 105 m x 68 m

- Considerar la importancia de normar la calidad de los neumáticos nuevos que ingresen al mercado nacional, dado que traerá aparejado un aumento en su vida útil y, por ende, un menor flujo de residuos.
- Implementar la REP para los NFU y sus metas de recuperación en forma gradual, para no sobre exigir el mercado de recuperación que se está generando.

ANEXO 2

Cálculo de la cantidad de NFU a partir de los vehículos en circulación de la Conurbación La Serena – Coquimbo

Periodo	Comuna	TOTAL	Transporte particular y otros					Transporte colectivo y de carga					Total NFU en La Serena y Coquimbo
			Total Vehículos en circulación	Nº de neumáticos	Nº de neumáticos recambio	Nº de neumáticos recauchaje	NFU unidades	Total Vehículos en circulación	Nº de neumáticos	Nº de neumáticos recambio	Nº de neumáticos recauchaje	NFU unidades	
2008	Total	68.372	59.310	237.240	189.792	18.979	170.813	9.062	36.248	144.992	14.499	130.493	301.306
	La Serena	45.073	40.329	161.316	129.053	12.905	116.148	4.744	18.976	75.904	7.590	68.314	
	Coquimbo	23.299	18.981	75.924	60.739	6.074	54.665	4.318	17.272	69.088	6.909	62.179	
2009	Total	72.810	63.296	253.184	202.547	20.255	182.292	9.514	38.056	152.224	15.222	137.002	319.294
	La Serena	45.968	40.949	163.796	131.037	13.104	117.933	5.019	20.076	80.304	8.030	72.274	
	Coquimbo	26.842	22.347	89.388	71.510	7.151	64.359	4.495	17.980	71.920	7.192	64.728	
2010	Total	79.515	69.454	277.816	222.253	22.225	200.028	10.061	40.244	160.976	16.098	144.878	344.906
	La Serena	48.489	43.225	172.900	138.320	13.832	124.488	5.264	21.056	84.224	8.422	75.802	
	Coquimbo	31.026	26.229	104.916	83.933	8.393	75.540	4.797	19.188	76.752	7.675	69.077	
2011	Total	89.206	79.188	316.752	253.402	25.340	228.061	10.018	40.072	160.288	16.029	144.259	372.321
	La Serena	54.281	48.988	195.952	156.762	15.676	141.085	5.293	21.172	84.688	8.469	76.219	
	Coquimbo	34.925	30.200	120.800	96.640	9.664	86.976	4.725	18.900	75.600	7.560	68.040	
2012	Total	100.531	90.046	360.184	288.147	28.815	259.332	10.485	41.940	167.760	16.776	150.984	410.316
	La Serena	61.861	56.230	224.920	179.936	17.994	161.942	5.631	22.524	90.096	9.010	81.086	
	Coquimbo	38.670	33.816	135.264	108.211	10.821	97.390	4.854	19.416	77.664	7.766	69.898	
2013	Total	109.899	99.434	397.736	318.189	31.819	286.370	10.465	41.860	167.440	16.744	150.696	437.066
	La Serena	67.086	61.535	246.140	196.912	19.691	177.221	5.551	22.204	88.816	8.882	79.934	
	Coquimbo	42.813	37.899	151.596	121.277	12.128	109.149	4.914	19.656	78.624	7.862	70.762	
2014	Total	118.214	107.316	429.264	343.411	34.341	309.070	10.898	43.592	174.368	17.437	156.931	466.001
	La Serena	70.764	64.708	258.832	207.066	20.707	186.359	6.056	24.224	96.896	9.690	87.206	
	Coquimbo	47.450	42.608	170.432	136.346	13.635	122.711	4.842	19.368	77.472	7.747	69.725	

ANEXO 3

Proyección del mercado de productos fabricados en base a caucho

En la tabla se expone la cantidad de empresas y los niveles de venta de los fabricantes de productos en base a caucho desde el año 2005 y más abajo, la tabla 6.6 presenta una proyección de las mismas.

FABRICACION DE PRODUCTOS DE CAUCHO		
Año Comercial	Número de Empresas	Ventas (UF)
2005	254	4.840.894,76
2006	266	5.475.708,49
2007	277	6.360.529,98
2008	277	7.420.580,53
2009	288	7.163.563,82
2010	275	*
2011	290	*
2012	289	*
2013	281	16.377.936,60
2014	284	18.502.956,80
2015	274	17.543.506,65

(*) *Corresponde a valores que debido a restricciones relativas a la reserva tributaria (según el Artículo 35 del Código Tributario) no son factibles de informar. El software SPSS posee la opción de no tomar en cuenta estos vacíos de datos.*

Año	Mínimo de empresas en 10 años	Demanda (Pronóstico)
2016	254	\$ 22.460.951,34
2017	254	\$ 24.081.129,11
2018	254	\$ 25.701.306,87
2019	254	\$ 27.321.484,64
2020	254	\$ 28.941.662,40
2021	254	\$ 30.561.840,17
2022	254	\$ 32.182.017,94
2023	254	\$ 33.802.195,70
2024	254	\$ 35.422.373,47
2025	254	\$ 37.042.551,23

Año	Máximo de empresas en 10 años	Demanda (Pronóstico)
2016	290	\$ 19.612.291,79
2017	290	\$ 21.232.469,55
2018	290	\$ 22.852.647,32
2019	290	\$ 24.472.825,08
2020	290	\$ 26.093.002,85
2021	290	\$ 27.713.180,62
2022	290	\$ 29.333.358,38
2023	290	\$ 30.953.536,15
2024	290	\$ 32.573.713,92
2025	290	\$ 34.193.891,68

Proyección de los niveles de venta de empresas fabricantes de productos de caucho con mínimo y máximo constantes.

Se puede observar que al existir mayores oferentes de productos de caucho el beneficio privado se ve disminuido. Esta diferencia varía entre un 8% y 13% en las ventas pronosticadas.

Además, se puede concluir que al mercado de productos de caucho se le pronostica un constante crecimiento. Lo que lo transforma en un mercado atractivo para la demanda del caucho granulado y polvo de caucho como materia prima.

ANEXO 4

Flujo de caja Proyecto Puro (M\$)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		902.448	941.567	981.889	1.023.448	1.066.277	1.110.409	1.155.880	1.202.726	1.250.983	1.300.690
Costos de fabricación		457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621
Fijos											
Variables											
Depreciación Activos fijos											
Obras físicas		3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340
Maquinaria		40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084
Utilidades antes de impuestos		401.403	440.522	480.844	522.403	565.232	609.364	654.835	701.681	749.938	799.645
Gastos financieros											
Utilidades antes de impuestos		401.403	440.522	480.844	522.403	565.232	609.364	654.835	701.681	749.938	799.645
Impuestos		76.267	83.699	91.360	99.257	107.394	115.779	124.419	133.319	142.488	151.933
Utilidad neta		325.136	356.823	389.484	423.146	457.838	493.585	530.416	568.362	607.450	647.713
depreciación de activos fijos		43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424
Inversión activo fijo	622.362										
Inversión capital de trabajo	437.111										
Terreno											46.000
Valor libro activos fijos											524.412
Capital de trabajo											437.111
Flujo neto de caja	-1.059.473	368.560	400.247	432.908	466.570	501.262	537.009	573.840	611.786	650.874	1.698.660

Flujo de caja Proyecto Financiado (M\$)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		902.449	941.567	981.889	1.023.448	1.066.277	1.110.409	1.155.880	1.202.726	1.250.983	1.300.690
Costos de fabricación		457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621	457.621
Fijos											
Variables											
Depreciación Activos fijos											
Obras físicas		3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340	3.340
Maquinaria		40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084	40.084
Utilidades antes de impuestos		401.404	440.522	480.844	522.403	565.232	609.364	654.835	701.681	749.938	799.645
Gastos financieros											
Utilidades antes de impuestos		401.404	440.522	480.844	522.403	565.232	609.364	654.835	701.681	749.938	799.645
Impuestos		76.267	83.699	91.360	99.257	107.394	115.779	124.419	133.319	142.488	151.933
Utilidad neta		325.137	356.823	389.484	423.146	457.838	493.585	530.416	568.362	607.450	647.713
depreciación de activos fijos		43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424	43.424
Inversión activo fijo	622.362										
Inversión capital de trabajo	437.111										
Prestamo	635.684										
Terreno											46.000
Valor libro activos fijos											524.412
Capital de trabajo											437.111
Amortización del préstamo		36.224	40.571	45.439	50.892	56.999	63.839	71.500	80.080	89.689	100.452
Flujo neto de caja	-423.789	332.337	359.676	387.469	415.678	444.263	473.170	502.340	531.706	561.185	1.598.208