

gtz



GOBIERNO DE CHILE
CONAMA



INFORME FINAL

**DIAGNOSTICO FABRICACIÓN, IMPORTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
NEUMÁTICOS Y MANEJO DE NEUMATICOS FUERA DE USO**

**Preparado por
C Y V MEDIOAMBIENTE LTDA**

Diciembre 2008

RESUMEN EJECUTIVO

ANTECEDENTES GENERALES

El objetivo del Proyecto fondo de Reformas es introducir la REP de manera paulatina en el país, con el fin de poder aprobar su factibilidad económica, social y ambiental, mediante la introducción de la REP en forma voluntaria en sectores productivos y, en paralelo, la creación de legislación referente a la REP que se incorpore en el marco jurídico respecto de la gestión de Residuos. Bajo este marco de acción el presente diagnóstico avanza en la identificación y evaluación de los siguientes indicadores sectoriales elementos de gestión:

- Tasa de generación de NFU.
- Identificación de alternativas tecnológicas de valorización de NFU con mayor viabilidad de implementación en el corto y mediano plazo.
- Identificación de los actores que, actualmente, interactúan en la cadena de distribución y comercialización de neumáticos y, por tanto, en la generación de NFU, tanto formales como informales.
- Identificación de aspectos clave que requieren ser regulados.
- Propuesta de sistema de gestión con actores y roles, así como acciones a desarrollar en el corto y mediano plazo, en forma voluntaria por las empresas del sector de la industria del neumático considerando el uso del instrumento APL, a fin de generar directrices para la operatoria del Sistema de Gestión bajo los conceptos de Responsabilidad Extendida del Productor y Gradualidad.
- Propuesta de puesta en marcha del sistema de Gestión en la RM (mayor concentración de NFU), como una de las metas del APL con el fin de validarlo para luego ampliar a regiones.

RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO

La disposición inadecuada de neumáticos en desuso, ha llegado a convertirse en un problema ambiental de gran envergadura. Sólo en Chile se generan cerca de 2,7 millones de neumáticos usados cada año (del tipo neumáticos de auto, camioneta, buses y camiones, hasta aro 24), cantidad equivalente a unas 46.000 toneladas de estos residuos. En países desarrollados esta situación ha sido abordada mediante la promulgación de normativas e incentivos que promueven la existencia de empresas recicladoras que comercializan los materiales constitutivos de los neumáticos de diversas formas. Este estudio aborda fundamentalmente la cuantificación de NFU generados desde vehículos livianos (autos, camionetas), buses y camiones.

Chile aún no cuenta con una normativa para los neumáticos usados y hoy en día, el mercado de la valorización de los NFU en Chile aún es limitado, básicamente se orienta a la valorización energética en hornos cementeros de ciertos tipos de neumáticos, su uso en infraestructura de rellenos sanitarios o algunos usos menores similares que se les da en zonas agrícolas o por iniciativa de algunos municipios. Existen a la fecha algunos proyectos para desarrollar procesos de valorización, algunos de los cuales probablemente se concretarán en el mediano plazo.

Para la determinación de la condición actual de generación se tomó como base la estructura actual del parque vehicular en Chile¹, así como información de importaciones, exportaciones y venta de neumáticos, además de una estimación de los actuales destinos de los NFU obteniéndose los siguientes indicadores:

- Generación per.-capita: 0,18 NFU/habitante - año².

¹ Considera neumáticos de vehículo liviano, vehículos de transporte y carga de hasta 100 Kg de peso)

² Este bajo valor se explica por la baja tasa de vehículos por habitante en Chile: 1,58 vehículos por

- Tasa de recambio por tipo de neumático: neumáticos /año:
Vehículo liviano: 0,8
Vehículo transporte público: 4
Vehículo de carga: 4
- Cantidad anual de NFU generados /tipo de neumático (base 2007)

Unidades de NFU

Tipología	Recambio inicial	Recauchaje	NFU
vehículo liviano	1.992.420	0	1.992.420
vehículo transporte público	213.428	42.686	170.742
vehículo de carga	741.956	259.685	482.271
Total	2.947.804	302.370	2.645.434

Toneladas de NFU

Tipología	Recambio inicial	Recauchaje	NFU
vehículo liviano	16.537	0	16.537
vehículo transporte público	9.743	1.949	7.794
vehículo de carga	33.870	11.855	22.016
Total	60.150	13.803	46.347

Condiciones actuales de manejo de NFU en Chile

Condiciones actuales de manejo	Toneladas/año (base 2007)	Porcentaje respecto a total NFU actuales
Recambio inicial (total)	60.150	-
Recauchaje	13.803	-
NFU actuales	46.347	100
Coincineración	2.244	4,8 %
Uso en rellenos sanitarios	3.000	6,5 %
Uso agrícola, infraestructura y municipal (estimado)	2.000	4,3 %
Vertido "desconocido"	39.103	84,4 %

De acuerdo a la distribución geográfica de los NFU, la región Metropolitana concentra casi el 36% de la generación de NFU, si se consideran las regiones de la zona central (V a VII Región), el porcentaje de generación estaría cercano al 60%. La zona norte (hasta la IV Región), genera el 14,6%, y la zona sur (VIII a X Regiones) un 23,3%. Las regiones del extremo sur (XI y XII) sólo generan un 2,1%.

En forma paralela se realizó una estimación de la cantidad de neumáticos desechados por la industria minera, otra importante área de generación, estableciéndose un valor de alrededor de 12.000 toneladas anuales, focalizadas principalmente en las regiones del norte del país.

El sector actualmente incluye una gran variedad de actores: fabricante, importadores, distribuidores, talleres automotrices y empresas de recauchaje entre otros, por lo que el escenario para establecer una propuesta de gestión integral no será tarea fácil, sobretodo considerando que existen sectores que operan informalmente y que además realizan practicas no autorizadas de venta de neumáticos usados, dados de baja por otros usuarios, y que podrían atentar contra la seguridad al ser reusados. Estos actores también se concentran

habitante (base año 2006), cifra más de un 60% bajo la media en la UE: 4,11 vehículos por habitante.

geográficamente en la zona centro del país.

A fin de determinar las mejores alternativas de valorización para los NFU se desarrolló una revisión de las diversas tecnologías disponibles a nivel mundial tanto para residuo entero como luego de su reducción de tamaño, analizando aspectos técnicos y económicos de las mismas. Al respecto es importante mencionar que las tecnologías y aplicaciones que permiten una valorización material y energética del caucho de los NFU, son numerosas y no es necesario ceñirse a una única opción, ya que lo más ventajoso es utilizar varias de ellas.

Del análisis realizado las tecnologías potencialmente aplicables son varias, considerando tanto el uso de NFU enteros o su trituración previa. Dentro de las opciones de uso de NFU enteros, coexisten una serie de alternativas de reciclaje en obras de infraestructura, como es el caso de muros de contención o barreras en diversas obras civiles, debido a las ventajas que presenta su ejecución, puesto que el NFU no requiere ser procesado y es más económico que el material de construcción convencional que sustituiría. Dentro de las opciones de uso de NFU triturado, se vislumbran con una mayor factibilidad la fabricación de productos moldeados y el uso en caucho asfalto. Desde el punto de vista técnico (tecnología menos compleja, mejor separación de componentes) y económico (menores costos de inversión, operación y mantenimiento), el sistema de trituración a temperatura ambiente se considera el más apropiado

Otras alternativas analizadas podrían ser viables en un plazo mayor, pues algunas de ellas requieren de mayor investigación para validar su aplicabilidad o aceptación a nivel país, y otras aún presentan costos de inversión altos y un mercado poco claro para los productos que de ellas se generan.

Un beneficio adicional que tendría la incorporación de mayores alternativas de valorización de NFU, aparte de minimizar su impacto ambiental actual, es la generación de nuevos puestos de trabajo al instalarse empresas dedicadas a su transformación y posterior utilización.

Se considera posible recuperar y redireccionar entre un 30 y 40% del total de NFU de vertido desconocido (11.500 a 15.000 toneladas), lo cual permitiría aumentar la tasa actual de valorización, luego del recauchaje, desde el 15,6% actual estimado a más de un 40%, mediante la implementación de un sistema de gestión que involucre tanto la recolección del NFU como su manejo y transformación posterior por empresas valorizadoras, situación que se vislumbra posible en razón a los proyectos que se esperan desarrollar en el corto plazo. La presencia de estos proyectos permite inferir, desde ya, que las condiciones de producción a nivel nacional serían competitivas frente a la alternativa de importar (por ejemplo desde Brasil)

No obstante subsisten algunas barreras relacionadas con un mercado incipiente de los productos de NFU que es necesario desarrollar, y una cantidad efectiva de NFU recuperable limitada para soportar un gran número de empresas valorizadoras interesadas.

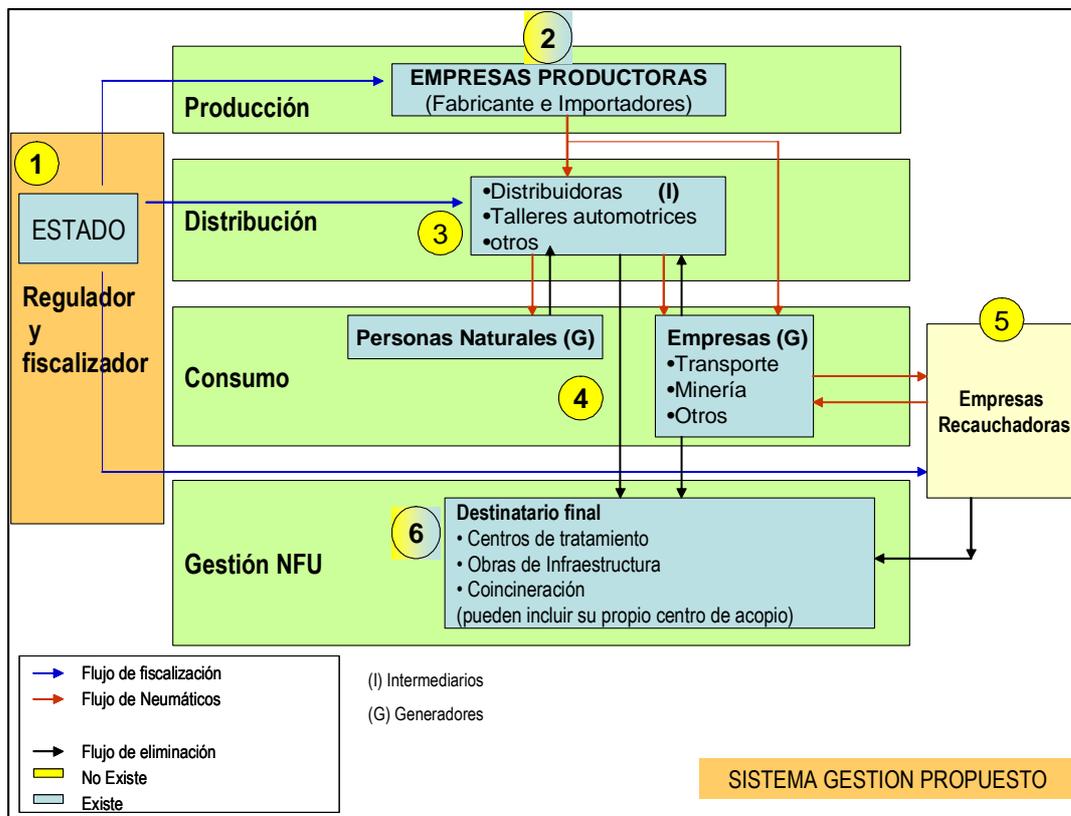
Para lograr la correcta eliminación de los NFU, muchos países cuentan con legislación específica en la materia y otros, que se encuentran hoy en proceso de desarrollar sistemas de gestión, están en etapa de generar leyes y reglamentos específicos. La principal dificultad que hoy en día presenta Chile para lograr una buena gestión y valorización de los neumáticos usados, es la falta de una legislación especial para este tipo de residuos, como también a la inexistencia actual de empresas dedicadas al tratamiento y valorización, distintas de la coincineración (como Lafarge).

Pero, a la par, también se observa una carencia importante de leyes y normativas orientadas a controlar la calidad del neumático que hoy se vende en el mercado. Ambos tipos de regulaciones son claves para poner en marcha un sistema de Gestión Integral del Neumático y del NFU. Por otra parte, también falta crear conciencia ambiental y de calidad en los distintos niveles de la cadena de intermediarios y generadores. El concepto rector del futuro sistema se orienta a un Principio de la Responsabilidad Extendida del Productor, REP, el cual se aplica

en la mayoría de los países evaluados, considerando conceptos de Responsabilidad Compartida entre los distintos actores involucrados.

La responsabilidad extendida del productor es un intento de protección del ambiente que se centra principalmente en el ciclo de vida del producto e intenta que fabricantes, distribuidores, intermediarios, usuarios, y empresas **compartan la responsabilidad de reducir los impactos** que el producto ocasiona al medioambiente.

Por lo anterior, el estudio desarrolló una propuesta de sistema de gestión de NFU de carretera (autos, camionetas, buses y camiones), basada en elementos de sistemas que actualmente operan a nivel internacional, pero considerando las singularidades del mercado chileno y considerando iniciar la gestión con los neumáticos que se están generando actualmente y se generarán a futuro.



Se destaca que, para que este sistema funcione, deben establecerse o crearse algunos elementos que hoy no existen: leyes y regulaciones específicas y centros específicos de tratamiento con mayor variedad de opciones de valorización.

Además, deben establecerse a lo menos los siguientes aspectos clave: Compromiso de los **productores** en el sistema, incentivando a los usuarios de disponer en forma limpia sus NFU, y control sobre los respectivos distribuidores (intermediarios) para limitar y eliminar la venta informal de NFU, fomentando el compromiso de entrega al organismo gestor para una correcta disposición. Por otra parte, compromiso de los **distribuidores** de ofrecer a los clientes el dejar sus neumáticos de recambio y de participar en el proceso de gestión mediante un aviso programado para el retiro de sus NFU, además de no fomentar un mercado informal, evitando la venta de neumáticos usados a talleres automotrices o similares. Compromiso de los **usuarios**,

ya sea personas naturales o jurídicas, dejando sus neumáticos en los puntos de venta al momento de realizar sus recambios o en el caso de empresas, de disponer bajo su responsabilidad ambiental de manera limpia estos residuos. Asimismo, es fundamental contar con un compromiso **gubernamental** de fiscalizar todo el sistema en su conjunto, para controlar su funcionamiento y evitar prácticas inadecuadas como la venta de neumáticos usados, dados de baja.

Cualquier sistema de gestión a nivel nacional, debe ser implementado de manera gradual. Por ello se propone realizar su puesta en marcha, inicialmente de manera voluntaria y considerando sólo NFU de autos/camionetas y buses/camiones, en la Región Metropolitana, donde se concentra cerca del 40% del parque vehicular del país, por consiguiente, un porcentaje similar en materia de NFU, además de un importante número de los actores que intervendrían en el proceso. A partir de esta primera etapa, el sistema se podrá extender a otras regiones y también aplicar a otros tipos de NFU no considerados inicialmente en este estudio como los de neumáticos OTR y similares, principalmente los de minería, los que podrían gestionarse posteriormente, considerando algunos elementos del sistema propuesto.

La implementación del sistema de gestión propuesto sería respaldada, en primera instancia, por los grandes productores asociados a CINC, los que por una iniciativa común buscan solución a los NFU generados por el recambio de sus productos. Dado que la generación de normativa necesaria es un proceso que toma algún tiempo, la puesta en marcha se considera de carácter voluntario y, por ende, estará respaldada por el Consejo de Producción Limpia bajo el desarrollo de un Acuerdo de producción Limpia del Sector, el cual permitirá aportar en las directrices y metas que sea necesario cumplir para apoyar, e incluso adelantarse a la normativa.

La Asociación, además, mantiene contacto con empresas valorizadoras con interés de instalarse en la Región y se espera concitar el interés de otros actores públicos y privados para establecer una mesa de negociación que establezca las bases del futuro APL, donde la puesta en marcha del sistema de gestión será parte de las metas principales a lograr.

ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

NFU: neumático fuera de uso

OTR: denominación para neumáticos utilizados en vehículos de mayor tamaño (off the road: fuera de carretera)

REP: Responsabilidad extendida del productor

UE: Unión Europea

VIRS: vertedero ilegal residuos sólidos

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes del proyecto	12
1.2 Antecedentes generales del rubro.	12
1.3 Objetivos.	13
1.4 Productos o resultados esperados.	13
1.5 Metodología	13
II. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO	18
2.1 Antecedentes general del sector	18
2.1.1 Antecedentes de la Asociación Gremial.	18
2.1.2 Identificación y distribución geográfica del universo de empresas del rubro.	18
2.2 Características económicas del sector	25
2.2.1 Tamaño del sector	25
2.2.2 Evaluación de neumáticos comercializados a nivel nacional	28
2.2.3 Estimación de niveles de reemplazo de neumáticos de carretera y generación de NFU	29
2.2.4 El caso de los neumáticos de minería de alto tonelaje	32
2.2.5 Canales de comercialización.	33
2.2.6 Evolución del sector en los últimos años y proyecciones para los próximos 10 años.	34
2.3 Características de los neumáticos comercializados en Chile.	36
2.3.1 Características genéricas de los neumáticos.	36
2.4 Evaluación de la gestión del sector a nivel Internacional.	46
2.4.1 Sistemas de gestión de NFU desarrollados a nivel internacional.	48
2.4.2 Legislación relacionada a la gestión de NFU.	53
2.4.3 Generación de indicadores base para la gestión de los NFU en Chile	64
2.4.4 Diagnostico de la gestión actual de los NFU en Chile	66
2.4.5 Evaluación de los riesgos e impactos de los NFU.	69
2.4.6 Identificación de buenas practicas actuales.	71
2.4.7 Diagnostico de alternativas de eliminación actualmente en uso. Diagnostico y evaluación técnico económica de alternativas de eliminación de NFU a nivel mundial.	72
2.5 Alternativas de reuso	76
2.5.1 Alternativas de reuso	77
2.5.2 Alternativa de reciclaje sin modificación física del NFU	79
2.5.3 Alternativa de reciclaje con modificación física	84
2.5.4 Alternativas de Reciclaje para Valorización energética	97
2.5.5 Riesgos e impactos en algunas alternativas de valorización de los NFU	103
2.5.6 Evaluación Técnica - económica de alternativas de valorización de NFU	107
III. DISCUSIÓN	113
3.1 Respecto a la generación de NFU y alternativas tecnológicas de valorización	113
3.2 Respecto de una propuesta de sistema de gestión	113
IV. APORTES DEL ESTUDIO A LOS INDICADORES DEL PROYECTO	120
BIBLIOGRAFÍA	121

ANEXOS

Anexo 1: Glosario de términos	2
Anexo 2: Listado de empresas relacionadas al sector	4
A2.1 Listado de empresas importadoras	4
A2.1.1 Empresas importadoras sobre 400 unidades durante el año 2007	9
A2.2 Listado de empresas distribuidoras y algunas marcas neumáticos identificadas en el mercado	12
A2.3 Listado marcas neumáticos identificadas en el mercado	26
A2.4 Listado empresas de recauchaje	28
A2.5 Estaciones de servicio por región	31
Anexo 3: Evolución de parque automotriz por tipo de vehículo	32
Anexo 4: Datos de importación y exportación	33
A4.1 Códigos de importación y exportación	33
A4.2 Estadísticas de exportación de neumáticos	34
A4.3 Estadísticas de importación y origen neumáticos	34
Anexo 5: Listado de contactos específicos realizados	39
Anexo 6 Listado de normativas de calidad neumáticos Argentina y Naciones Unidas	40

INDICE DE TABLAS

2.1	Distribución de importadoras de Neumáticos a nivel nacional	19
2.2	Puntos de venta de neumáticos a nivel nacional	19
2.3	Distribución de empresas de recauchaje	21
2.4	Distribución de talleres automotrices por región	22
2.5	Evolución del parque automotriz	25
2.6	Total Parque automotriz por Regiones	25
2.7	Detalle de evolución histórica de cantidad de neumáticos en uso	26
2.8	Balance importaciones- exportaciones totales de neumáticos	28
2.9	Clasificación de neumáticos importados por tipo	28
2.10	Estimación de la variación histórica de neumáticos de recambio	30
2.11	Estimación total de NFU	31
2.11A	Estimación total de NFU por región	32
2.12	Consumo de neumáticos para camiones mineros	32
2.13	Proyección del crecimiento del sector basada en parque automotriz y tasa de recambio	35
2.14	Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos	39
2.15	Materiales utilizados en la fabricación de neumáticos	39
2.16	Sustancias peligrosas presentes en los neumáticos	40
2.17 A	Peso promedio de un neumático	41
2.17 B	Peso medio de los neumáticos utilizados en la UE	41
2.18	Análisis químico elemental de un neumático	42
2.19	Energía y emisiones de CO ₂	42
2.20	Valorización de NFU en Estados Unidos	46
2.21	Evolución de la generación de neumáticos usados en la UE	47
2.22	Destinos de los materiales procedentes de la NFU en la UE	48
2.23	Estadísticas de Gestión de NFU en España y la UE	48
2.24	Destinos de los materiales reciclados procedentes de NFU en la UE	48
2.25	Sistemas de gestión de neumáticos adoptados por diversos países	49
2.26	Prácticas y recomendaciones para la gestión de NFU	52
2.27	Tarifas del Sistema de Gestión SIGNUS	58
2.28	Proyectos relacionados a la gestión de NFU	68
2.29	Recolección de NFU desarrollada por Goodyear	71
2.30	Productos de la trituración de neumáticos	84
2.31	Comparación de procesos de trituración	88
2.32	Productos generados por la trituración de acuerdo a granulometría	88
2.33	Costos estimados para producir caucho devulcanizado	96
2.34	Productos de la pirolisis de neumáticos	100
2.35	Análisis mineral de la ceniza de neumático	104
2.36	Concentración de contaminantes en los gases de un horno cementero	105
2.37	Límites máximos en lixiviados de acuerdo a uso	106
2.38	Condiciones actuales de manejo de NFU en Chile	107
2.39	Evaluación de la aplicabilidad de NFU en obras civiles	108
2.40	Evaluación de ventajas y desventajas de alternativas valorización NFU	108
2.41	Evaluación de alternativas de reducción de tamaño de NFU	110
2.42	Evaluación de alternativas de valorización de los NFU triturados	111
2.43	Ejemplo de evaluación económica simplificada planta de trituración	112

INDICE DE FIGURAS

2.1	Distribución empresas a nivel país	23
2.2	Distribución geográfica empresas	24
2.3	Canales de comercialización de neumáticos y ciclo de los NFU	34
2.4	Partes componentes de un neumático	37
2.5	Tipos de neumáticos	38
2.6	Sistema Integral de Gestión para NFU	51
2.7	Sistema de Gestión SIGNUS Ecovalor	56
2.8	Modelo de Gestión Plan Gira	60
2.9	Valorización de NFU en Lafarge Cemento Melón	73
2.10	Alternativas de reciclaje de NFU	76
2.11	Muro de contención con neumáticos usados	81
2.12	Detalle del producto LLANTION	82
2.13	Construcción de cimientos y muros de viviendas con neumáticos usados	84
2.14	Proceso de trituración a temperatura ambiente	85
2.15	Proceso de trituración criogénica	87
2.16	Proceso por vía húmeda	90
2.17	Proceso por vía seca	92
2.18	Puesta en obra mezcla asfalto caucho	94
2.19	Carretera construida con asfalto caucho	94
2.20	Diagrama del proceso de incineración	98
2.21	Diagrama del proceso de pirolisis	100
2.22	Proceso de Termólisis	102
2.23	Flujo actual de Neumáticos y NFU	115
2.24	Propuesta de Sistema de Gestión de Neumáticos y NFU	115

I INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

En el marco de las relaciones de cooperación técnica y económica, los Gobiernos de la República Federal de Alemania y de la República de Chile acordaron en el año 2007 crear el "Fondo de planificación estratégica e implementación de reformas autofinanciadas en Chile". En el mes de agosto de 2007, el Comité Coordinador del Fondo aprobó la solicitud de CONAMA para el financiamiento del Proyecto "Gestión Integral de Residuos Sólidos en Chile".

El Proyecto se encuadra en la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, cuyo objetivo es lograr que el manejo de residuos sólidos se realice con el mínimo riesgo para la salud de la población y para el medio ambiente, propiciando una visión integral de los residuos, que asegure un desarrollo sustentable y eficiente del sector. En este contexto, el Proyecto pretende introducir el concepto de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Este moderno concepto ha sido desarrollado en Europa en los años 90 y los resultados positivos de la REP ha significado una aplicación a cada vez más productos.

La REP significa que un productor (fabricante o importador) se debe hacer cargo, o ser como mínimo co-responsable, de un producto una vez terminada su vida útil. El concepto es especialmente aplicable a los productos de consumo masivo, tales como envases, neumáticos, refrigeradores, baterías, pilas y vehículos. Una de las principales ventajas que se aprecian para establecer este concepto, es la posibilidad de eliminar distorsiones en el mercado, ya que actualmente entre los costos de muchos productos no se considera el costo para financiar su manejo al momento de convertirse en residuo. Con la incorporación de los costos totales de todo el ciclo de vida del producto hasta su fin como residuo, se cumple con dicho principio de responsabilidad.

El Proyecto se inició en marzo de 2008, tiene una duración de 22 meses y será ejecutado por CONAMA y GTZ. El Proyecto pretende introducir la REP de manera paulatina en el país, con el fin de poder aprobar su factibilidad económica, social y ambiental. El proyecto consiste en dos elementos: la introducción de la REP en forma voluntaria en dos sectores productivos y, en paralelo, la creación de una legislación referente a la REP que se incorpore en el marco jurídico respecto de la gestión de Residuos.

1.2 ANTECEDENTES GENERALES DEL RUBRO

Actualmente, los principales distribuidores de neumáticos en Chile se encuentran asociados en CINC (Cámara de la Industria del Neumático de Chile). No obstante, existen variadas empresas relacionadas al rubro, ya que se estima que se comercializan hoy más de 400 marcas de neumáticos.

La disposición inadecuada de neumáticos en desuso, ha llegado a convertirse en un problema ambiental de gran envergadura. Sólo en Chile se desechan actualmente unos 3 millones de neumáticos cada año, cantidad equivalente a unas 40.000 toneladas de estos residuos. En países desarrollados esta situación ha sido abordada mediante la promulgación de normativas e incentivos que promueven la existencia de empresas recicladoras que comercializan los materiales constitutivos de los neumáticos de diversas formas.

Un NFU es aquel neumático que por su estado, con relación a las normas de seguridad vigentes, no es apto para uso sin aplicarle técnicas que alarguen su vida útil. Asimismo, se considera como tales las cámaras y neumáticos de rechazo de fabricación y aquellos neumáticos de los que se desprenda su poseedor. Un neumático fuera de uso se considera RESIDUO NO PELIGROSO, según el listado del SEREMI de Salud (código N° 73 del Listado de residuos No Peligrosos). A

nivel mundial se les clasifica también como “residuo voluminoso” (bulky waste).

Como en Chile no se cuenta con una normativa para los neumáticos usados y tampoco está permitida su disposición en rellenos sanitarios, gran parte de los NFU son desechados en forma no controlada e ilegal en sitios eriazos, los que con el paso del tiempo se van transformando en vertederos ilegales y micro basurales.

Hoy en día, el mercado de la valorización masiva de los NFU en Chile aún es limitado, básicamente se orienta a la valorización energética en hornos cementeros, de ciertos tipos de neumáticos. Existen algunos proyectos en distintas etapas de avance, pero ninguno en operación, enfocados a la valorización de neumáticos de carretera y neumáticos de minería, y un proyecto de **Lafarge** orientado a acondicionar el horno actual y producir la quema de otros tipos de neumáticos en un precalcinador ubicado fuera del proceso mismo del horno, para inyectar dicha energía al proceso. A nivel internacional, la gestión de los NFU se encuentra bastante más avanzada, producto del desarrollo de sistemas de gestión y normativas directamente relacionadas al tema.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Levantar información y construir indicadores para distintos ámbitos vinculados al rubro de los Neumáticos como producto y Neumáticos Fuera De Uso (NFU) y su gestión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información general del rubro en cuestión
- Realizar una Caracterización económica.
- Realizar un diagnóstico de la actual situación en Chile de los NFU y una comparación con experiencias a nivel internacional

1.4 PRODUCTOS O RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados del estudio se focalizan en la obtención de:

- Información general sistematizada de las empresas productoras e importadoras del rubro de neumáticos.
- Caracterización económica del sector
- Diagnóstico del mercado de los NFU en Chile
- Diagnóstico de la eliminación de los NFU en Chile
- Diagnóstico de la eliminación de los NFU a nivel mundial.

1.5 METODOLOGÍA

El estudio considera 4 etapas, las cuales se desarrollan en el presente informe.

ETAPA 1 ETAPA DE AJUSTE METODOLÓGICO

Se consideró programar una primera reunión, en la semana 1 de ejecución del estudio, a fin de concordar con la contraparte los aspectos metodológicos en relación al inicio del estudio, sus aspectos más críticos y el como se abordará cada una de sus etapas, a fin de lograr el máximo de compromiso de los actores a involucrar y cumplir con los plazos establecidos.

ETAPA 2 RECOPIACION GENERAL DE INFORMACION DEL RUBRO

Actividad 1: Recopilación de antecedentes de Asociatividad.

El levantamiento inicial de la información del rubro consistió en recopilar antecedentes generales de la Asociación gremial CINC: cámara de la industria del neumático de Chile (RUT, CIIU,), verificando número de empresas que la conforman, representatividad sectorial y antigüedad, así como la descripción de su estructura administrativa.

Actividad 2: Identificación del universo de empresas del rubro.

Se realizó un levantamiento de información de las empresas a nivel nacional relacionadas al rubro (Fabricantes, Importadores y Distribuidores), considerando además los casos de aquellas empresas que abarcan más de una de estas áreas determinando su número y tamaño. Además se realizó una clasificación adicional de las empresas de acuerdo a datos y estimaciones de producción, importación, o unidades vendidas, de acuerdo a tipo de neumáticos (livianos: de pasajeros/camioneta y de Bus/camión). Para ello se recurrió a fuentes iniciales de páginas comerciales, entrevistas con comité de Reciclaje de CINC, visitas y entrevistas a diversos importadores y distribuidores, y empresas de recauchaje, entre otros.

Datos preliminares indican que alrededor de 240 empresas abastecen neumáticos al mercado Chileno. Los neumáticos se comercializan a través de unos 500 locales a lo largo del país. El estudio presentará al menos una cobertura de 70% de las empresas que abastecen neumáticos regularmente y un 60% de los locales de distribución.

Actividad 3 Caracterización de la distribución geográfica de las empresas.

En paralelo con la actividad 2, se identifica y documenta la ubicación geográfica de las empresas e instalaciones relacionadas al rubro (Fabricantes, Importadores y Distribuidores), a nivel de principales ciudades y regiones, a fin de establecer su grado de concentración, y posteriormente, los principales puntos a nivel país donde se generaría la mayor cantidad de NFU.

ETAPA 3: CARACTERIZACION ECONOMICA DEL SECTOR

Actividad 1. Determinación de tamaño del sector y su importancia.

Se realizó una evaluación del tamaño del sector y su importancia relativa en Chile, en base a los siguientes antecedentes:

- parque automotriz nacional
- factores de uso de neumáticos, estableciendo tiempo de vida útil promedio por tipo de neumáticos en función de condiciones de uso y lo indicado por fabricantes, distribuidores y usuarios consultados.
- niveles potenciales del reemplazo de unidades, de acuerdo a tipo de neumáticos.
- volúmenes de venta en unidades (como dato referencial se sabe que el crecimiento en el último año fue de un 3,9%)
- volúmenes de importación, exportación y producción nacional y origen de los productos.
- canales de comercialización.
- incidencia en el empleo.
- participación de CINC en el total del mercado, entre otros.

Para la obtención de esta información se recurrió a estadísticas del INE, Prochile, registros de

Aduana y datos a solicitar a las empresas del rubro.

Actividad 2 Estimación de generación de NFU

Esta actividad se orientó a determinar los tipos y cantidades de NFU generados a nivel nacional y por región considerando Unidades/año o Ton/año, basándose en datos recabados previamente en el estudio y datos entregados por las empresas del rubro. Para la clasificación inicial de los NFU generados se consideran las siguientes tipologías, de acuerdo a tamaño.

- Neumáticos livianos vehículo pasajeros
- Neumático bus/camión: transporte público y transporte de carga
- Neumáticos de maquinarias

A este nivel se realiza, además un análisis del porcentaje de recambio basándose en los datos estadísticos generados desde el estudio sobre el mercado de neumáticos nuevos vs. NFU generados por año a fin de establecer el valor histórico del indicador cantidad de NFU/año.

Adicionalmente, se lleva a cabo una comparación de los volúmenes de generación de NFU del sector determinados con índices o factores de generación a nivel internacional, a fin de determinar la situación del mercado nacional.

Entre los indicadores factibles de establecer a este nivel de diagnóstico se tendrán:

- Cantidad de NFU generados por tipo de neumático (cantidad anual).
- Tasa de recambio por tipo de neumático.
- Cantidad de NFU recuperados y tasa de recuperación.

Actividad 3 Tipo y características de los neumáticos comercializados en Chile.

Se desarrolló una caracterización del producto de manera específica, sobre la base de información técnica revisada y su validación por parte de las empresas del rubro, para determinar su composición y establecer el porcentaje real en que se encuentra presente cada material.

Se solicitó, además, información a las empresas del sector respecto de la validación del proceso de fabricación desarrollado, para determinar si existen variantes respecto de la información disponible a nivel internacional. Esto permitirá establecer, a priori, cuales serán los volúmenes y potenciales destinos de los materiales que se generarían con la separación de sus componentes.

Adicionalmente a lo anterior se evaluaron antecedentes de normativas de calidad establecidas para el producto, tanto a nivel nacional como internacional, así como la normativa referida a requisitos de ingreso de neumáticos al país. En ambos casos se realiza un análisis del grado de aplicabilidad actual y de aspectos que, eventualmente deberían ser complementados.

Actividad 4 Evolución del sector y proyecciones para los próximos 10 años.

Sobre la base del levantamiento de información desarrollado en las etapas anteriores y en base a información a solicitar a CINC y a empresas del rubro se estableció la condición de evolución del rubro en los últimos años, analizando si existen variables de estacionalidad u otras variables que hayan incidido en un mayor o menor crecimiento esperado. Dicha información permite establecer la proyección de crecimiento de los próximos años. Esta proyección se establecerá, inicialmente, en base a la tasa de crecimiento del rubro y del parque automotriz a nivel nacional.

Actividad 5 Evaluación del sector a nivel internacional

Dentro de esta actividad se recopiló y analizó toda la información necesaria para evaluar los sistemas de gestión en uso y la legislación internacional de países de la Comunidad Europea, principalmente España y Alemania, además de Suecia, en base a sus avances en el tema y en la aplicación del principio REP. Otras normativas a evaluar serán, inicialmente, las de México, Estados Unidos y Canadá. En la medida que se avance en el estudio, podrían incorporarse otros países donde se determine que existe un avance significativo en los aspectos normativos.

Esta actividad permite reconocer aspectos claves en la gestión y aspectos de legislación o normativa establecida en países que se han caracterizado por sus avances en el tema, rescatando los aspectos más importantes de estas normativas para generar lineamientos posibles de aplicar en Chile.

ETAPA 4: DIAGNOSTICO DE LA ACTUAL SITUACIÓN EN CHILE DE LOS NFU Y COMPARACIÓN CON EXPERIENCIAS A NIVEL INTERNACIONAL”

Actividad 1 Diagnostico de la gestión actual de los NFU

Dentro de esta actividad se realizó un levantamiento de información respecto de el grado de gestión actual de los NFU, por parte de las mismas empresas o de los distintos generadores, como:

- Organismos del Estado: FFAA, Municipios, Ministerios, Servicios Públicos, empresas estatales
- Empresas fabricantes o distribuidoras

A este nivel se analizaron los sistemas existentes de almacenamiento recolección y/o disposición que realiza cada uno de ellos y si existen convenios de retiro y transporte con alguna empresa en particular.

Actividad 2 Identificación de buenas practicas actuales

Se realizó una descripción de las buenas prácticas implementadas actualmente en Chile sobre la base de información recabada desde las empresas del sector, investigando si existen sectores de generadores que también las hayan incorporado. Se incluye información de campañas de recolección de NFU realizadas periódicamente y los resultados logrados por las mismas. Las buenas prácticas presentes en nuestro país por parte de las empresas del rubro se focalizan en acciones de gestión voluntaria, ya que no existe normativa que obligue a los productores de neumáticos a dar una disposición final a los NFU.

Actividad 3 Diagnostico de alternativas de eliminación actualmente en uso

Esta actividad se orientó a levantar, evaluar y documentar información sobre las alternativas de eliminación de los NFU actualmente disponibles en Chile (uso en hornos cementeros, uso en agricultura, uso limitado en infraestructura, entre otros), cuantificando o estimando el porcentaje de NFU que se destina a cada una de ellas, incluyendo una estimación de la disposición no autorizada de los mismos, en base a estudios realizados en VIRS identificados, por ejemplo en la Región Metropolitana. A este nivel se incluye, además, información de los avances de proyectos orientados a incorporar sistemas de gestión y eliminación adecuada, y del grado de manejo de los pasivos ambientales presentes actualmente en relación a NFU.

Actividad 5 Diagnostico y evaluación técnico económica de alternativas de eliminación de NFU a nivel mundial

Se realizó un levantamiento de información y la respectiva evaluación técnico-económica de alternativas de eliminación de NFU disponibles a nivel mundial. Para cada alternativa se indica, cuando corresponde, las características del producto recuperado (tamaño de neumático, necesidad o no de trituración, granulometría del chipiado, entre otras), volúmenes mínimos para que dicha opción sea técnica y económicamente viable, nivel de tecnología necesaria y requerimientos de equipamiento.

Entre estas alternativas evaluadas se consideran:

Alternativas de Reuso

- recauchaje

Alternativas de Reciclaje sin modificación física del NFU

- barreras o defensas de caminos
- edificaciones (viviendas earthship)
- uso en rellenos sanitarios
- control de erosión
- construcción de diques y muros o taludes de contención, relleno de terraplenes

Alternativas de Reciclaje con modificación física

- Trituración (ambiente, criogénica, húmeda) para moldeado de nuevos productos
- enriquecimiento de asfalto para pavimentos: uso como caucho asfáltico o como sustituto de parte del árido en la mezcla asfáltica.
- hormigón modificado

Alternativas de Reciclaje con o sin modificación

- construcción de barreras de ruido, aislamiento térmico,

Alternativas de Reciclaje con modificación química o biológica

Alternativas de Reciclaje para Valorización energética

- combustible alternativo en hornos cementeros
- pirolisis
- termólisis

Actividad 6 Evaluación de los riesgos e impactos de los NFU y sus alternativas de eliminación

Se realizó un análisis de los potenciales riesgos e impactos de los NFU, principalmente en condiciones de almacenamiento no controlado, en función de su potencial de riesgos de incendios o de convertirse en foco de proliferación de vectores. A su vez se identifican los potenciales riesgos de contaminación en su reuso o reciclaje, en función de su composición y de la tecnología a utilizar. Para ello se hace uso de información disponible a nivel nacional o, en su defecto, de información de estudios internacionales.

Actividad 7 Síntesis de la información

Al término de la cuarta etapa se generó una síntesis de la información recopilada y los resultados obtenidos a fin de sistematizarlos en el informe final del estudio.

II RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO

2.1 ANTECEDENTES GENERALES DEL SECTOR

2.1.1 Antecedentes de la Asociación Gremial

- Nombre **Cámara de la industria del Neumático de Chile**
- Rut: **65.903.630-4**

Rubros relacionados al sector:

Fabricación de cámaras y neumáticos o llantas (CIIU 35511)

Recauchaje (CIIU 35512)

Importadores y distribuidores de automóviles, camiones, camionetas, motos, repuestos y accesorios (CIIU 61561)

- Numero de empresas que la conforman : **4 empresas**
- Representatividad sectorial : **sobre 50 % de las ventas totales del sector**
- Antigüedad: **creación marzo de 2008**

Estructura periodo 2008-2009

Gerente General

Presidente

Comités: Medioambiente, Normas, Estadísticas, Subcomité de Logística.

- Disponibilidad de HH: **160 horas/mes**

2.1.2 Identificación y distribución geográfica del universo de empresas del rubro.

2.1.2.1 Empresas Fabricantes de Neumáticos

A nivel nacional existe sólo una empresa que fabrica neumáticos, Goodyear de Chile, en su planta ubicada en Km. 16, Camino a Melipilla, Maipú. Ésta clasifica dentro de las empresas de tamaño grande, abastece una parte importante del mercado nacional y exporta cerca del 80% de su producción.

2.1.2.2 Empresas Importadoras de Neumáticos

Datos preliminares indicaban la existencia de alrededor de 240 empresas que abastecen neumáticos al mercado Chileno. El estudio ha identificado a la fecha un total de 188 empresas que importan más de 20 unidades al año, ubicadas principalmente en la RM, regiones V y VIII en la zona central y Regiones I y II en la zona norte, cuya distribución se presenta en la tabla 2.1 y su detalle se adjunta en el Anexo 2.1. De acuerdo a datos complementados por CINC, el total de importadores es de 283, de los cuales cerca de 99 importan más de 400 unidades al año. De estos últimos cerca de 70 empresas son de importación de neumáticos de autos, camionetas, buses y camiones y el resto corresponde a empresas importadoras de neumáticos

tipo OTR, industriales, agrícolas y similares. Del total de grandes importadoras, sólo 8 de ellas cubren más del 70% del mercado (ver Anexo 2.1.1).

Tabla 2.1 Distribución de importadoras de Neumáticos a nivel nacional (*)

Región	Nº importadoras	%
XV Región	1	0,53%
I Región	9	4,79%
II Región	8	4,26%
III Región	3	1,60%
IV Región	3	1,60%
V Región	9	4,79%
XIII Región	125	66,49%
VI Región	3	1,60%
VII Región	1	0,53%
VIII Región	13	6,91%
IX Región	9	4,79%
XIV Región	0	0,00%
X Región	3	1,60%
XI Región	0	0,00%
XII Región	1	0,53%
País	188	100,00%

(*) Importación de más de 20 unidades anuales. Fuente: Servicio de Aduanas

2.1.2.3 Empresas distribuidoras de neumáticos

El estudio, basado en información recabada de fuentes comerciales y también de datos aportados por CINC, identificó un total de 667 puntos o locales de venta a nivel nacional, equivalentes a 308 empresas distribuidoras, según se indica en la tabla 2.2 y la figura 2.1, y cuyo detalle además se presenta en el Anexo 2.2. De éstos un 69% (463 locales) comercializarían una o más marcas de neumáticos de las empresas asociadas a CINC, en tanto el resto (204 locales) comercializa una amplia variedad de marcas de neumáticos importados.

Dentro del universo se consideraron aquellas dedicadas específicamente al rubro automotriz (546 locales, alrededor del 46% de tamaño pequeño y 36% medianas) y tiendas de retail (como Homecenter, Easy, y grandes supermercados, considerados como grandes empresas, equivalentes al 18,2% del universo detectado). Es importante mencionar que existen empresas que operan como importadoras y distribuidoras a la vez, y que existen tanto locales de venta exclusiva, como multimarcas.

Tabla 2.2 Puntos de venta de neumáticos a nivel nacional

Región	Locales por ciudad	Locales por región	Distribución porcentual
XV Región	Arica 14	14	2 10%
I Región	Iquique 34	34	5 10%
II Región	Antofagasta 20 Calama 13	33	4 95%
III Región	Copiapó 12 Vallenar 2	14	2 10%

IV Región	Coquimbo	8	26	3 90%
	La Serena	13		
	Illapel	1		
	Ovalle	4		
V Región	Valparaíso	10	53	7 95%
	Viña del Mar	17		
	Quilpue	3		
	Placilla	1		
	Quillota	4		
	La Calera	2		
	Cabildo	1		
	La Ligua	2		
	San Antonio	4		
	Los Andes	5		
San Felipe	4			
RM	Santiago	236	238	35 68%
	Talagante	1		
	Melipilla	1		
VI Región	Rancagua	17	34	5 10%
	Rengo	3		
	San Fernando	6		
	Santa Cruz	4		
	San Vicente	3		
	Chimbarongo	1		
VII Región	Talca	10	41	6 15%
	Linares	9		
	Licanten	1		
	Parral	1		
	Curicó	13		
	Constitución	3		
	San Javier	3		
	Villa Alegre	1		
VIII Región	Chillán	15	74	11 09%
	Concepción	34		
	Talcahuano	6		
	Los Ángeles	18		
	Coronel	1		
IX Región	Temuco	22	32	4 80%
	Villarrica	5		
	Angol	3		
	Victoria	1		
	Traiguén	1		
XIV Región	Valdivia	8	8	1 20%
X Región	Puerto Montt	20	45	6 75%
	Osorno	17		
	Puerto Varas	2		
	Ancud	1		
	Castro	4		
	La Unión	1		
XI Región	Puerto Aysen	1	8	1 20%
	Coyhaique	7		
XII Región	Punta Arenas	11	13	1 95%
	Puerto Natales	2		
Total País			667	100%

De acuerdo a la información entregada por CINC, la distribución de locales para sus empresas asociadas sería la siguiente:

- Michelin 77 locales
- Pirelli: 63 locales
- Goodyear: 122 locales
- Bridgestone/ Firestone: 65 locales

Dentro de la información de los distribuidores se identificaron inicialmente alrededor de 35 diferentes marcas de neumáticos comercializadas, detectándose además un porcentaje importante de empresas que venden variadas marcas conjuntamente (más de 4) y otras sin información, las que probablemente comercialicen neumáticos de origen chino o similar. Lo anterior se detalla en el Anexo 2.3.

2.1.2.4 Empresas de recauchaje

El estudio identificó un total de 70 locales de recauchaje para neumáticos de camiones, y buses. De estas sólo 12 están certificadas. La mayoría de las empresas son de tamaño mediano y pequeño, y el detalle de las mismas se presenta en el Anexo 2.4. La Tabla 2.3 muestra su distribución a nivel nacional.

Tabla 2.3 Distribución de empresas de recauchaje

Región	recauchadoras
XV	4
I	5
II	5
III	3
IV	2
V	12
XIII	18
VI	1
VII	2
VIII	11
IX	2
XIV	2
X	3
XI	0
XII	0
Total general	70

Las regiones que concentran un mayor número de empresas de recauchaje son la RM (25,7%), seguidas de las Regiones VIII (15,7%), y V (17,1 %), lo cual es esperable ya que en ellas se concentran actividades de transporte industrial.

Considerando que, adicionalmente a las empresas identificadas, existe un importante número de empresas que también prestan el servicio de cambio de neumáticos, vulcanización y, eventualmente algún tipo de "recauchaje" dentro de otros servicios automotrices, se realizó un levantamiento general de los talleres automotrices existentes a nivel nacional, cuyo detalle se presenta en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Distribución de talleres automotrices por región

Región	Nº talleres	%
XV Región	20	2,0%
I Región	31	3,1%
II Región	31	3,1%
III Región	8	0,8%
IV Región	16	1,6%
V Región	123	12,1%
XIII Región	458	45,2%
VI Región	25	2,5%
VII Región	23	2,3%
VIII Región	75	7,4%
IX Región	78	7,7%
XIV Región	37	3,6%
X Región	65	6,4%
XI Región	12	1,2%
XII Región	12	1,2%
Total País	1014	100,0%

Las regiones que concentran un mayor número de talleres son la RM (45,2%), seguidas de las Regiones V (12,1%), VIII (7,4%) y X (6,4%).

Además de los talleres automotrices, se puede mencionar como sectores relacionados a las estaciones de servicio, que también suelen realizar actividades de recambio y las concesionarias, que incluyen la venta de neumáticos bajo el concepto de repuestos; estas últimas estarían consideradas dentro del sector de importadoras. Respecto a las estaciones de servicio, las referencias consultadas indican una distribución equivalente a del parque automotriz, con más de 460 locales en la RM, equivalentes al 31% del total nacional, y una mayor distribución localizada entre las regiones V y IX (ver anexo 2.5).

La figura 2.1 presenta la distribución a nivel nacional de los locales de venta de distribuidoras, importadoras, talleres y empresas de recauchaje³.

³ El estudio considero locales que operan formalmente, aun cuando no se desconoce que existe un mercado informal importante, en el tema de talleres principalmente.

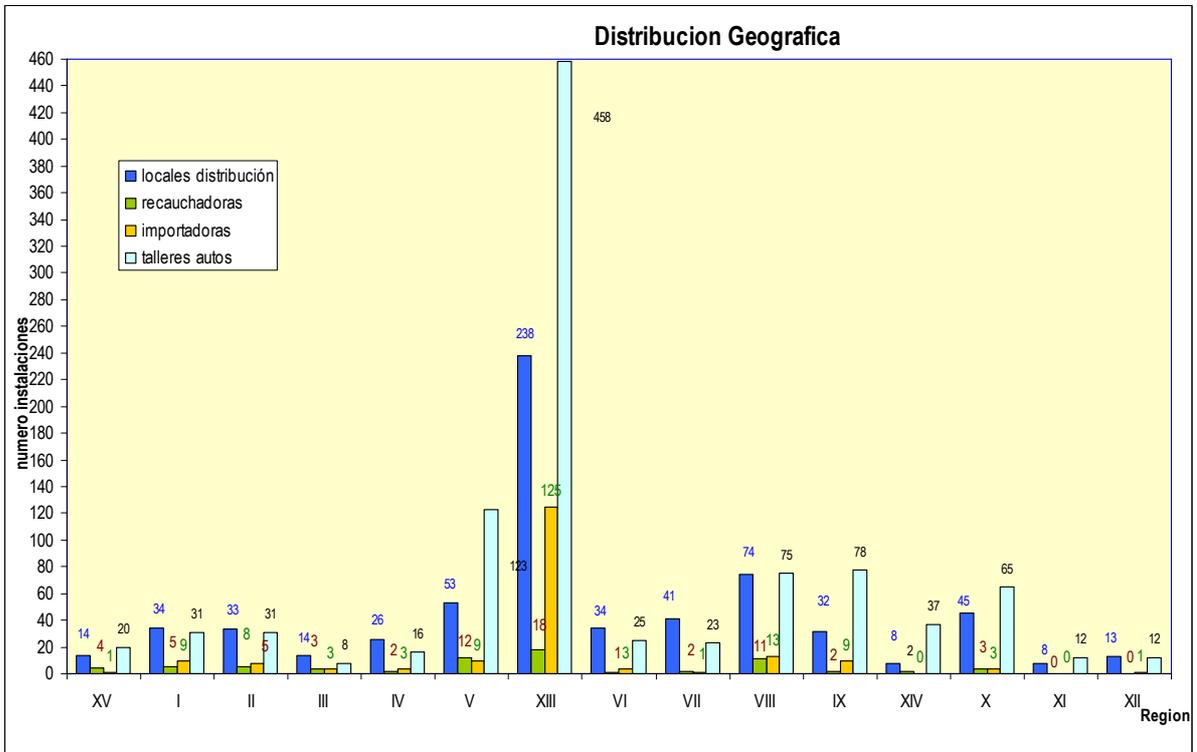
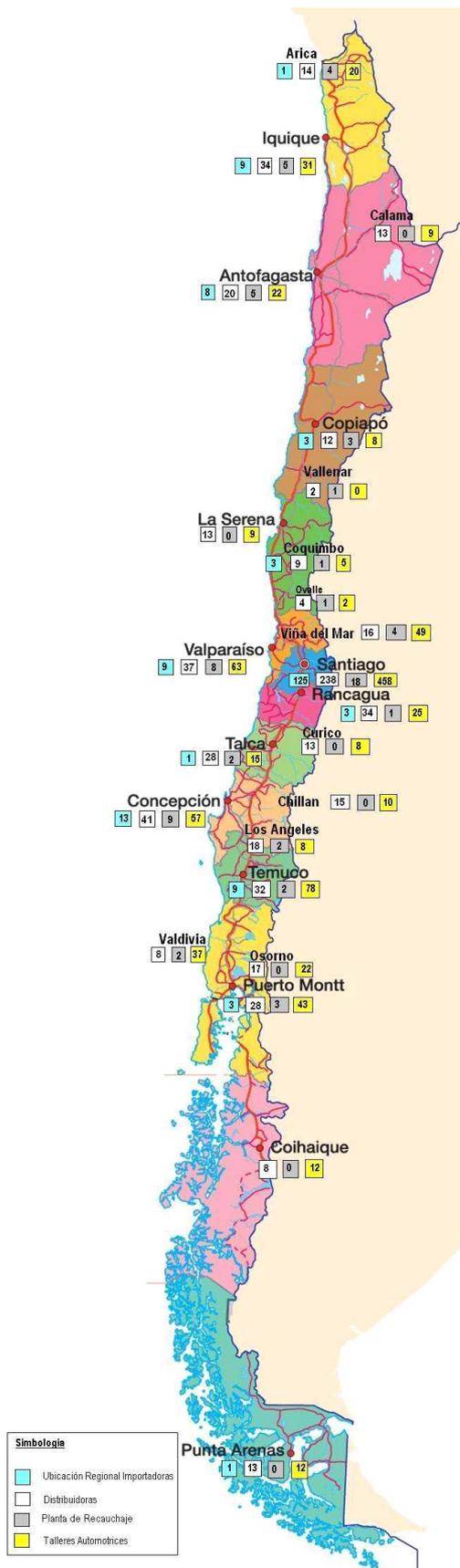


Figura 2.1 Distribución empresas relacionadas a nivel país



La Figura 2.2 presenta la distribución geográfica, a nivel nacional, de las empresas previamente identificadas que desarrollan algún manejo de los neumáticos. No se consideraron las importadoras pues éstas en su mayoría entregan el productos a las distribuidoras a lo largo del país, quienes son finalmente las que comercializan.

Se observa una alta predominancia de las mismas en la región centro y centro sur del país, seguidos de la zona norte y finalmente el extremo sur.

Las Regiones de mayor concentración corresponden a la Metropolitana, V y VIII.

De acuerdo a datos estadísticos del INE, el nivel de empleo dentro del CIU 3551, que incluye a empresas fabricantes de neumáticos y también empresas de recauchaje, al año 2007 era de 2.100 personas. Las estadísticas de CINC respecto al empleo directo e indirecto en empresas fabricantes indican 700 personas.

Figura 2.2 Distribución geográfica empresas

2.2 CARACTERIZACION ECONOMICA DEL SECTOR

2.2.1 Tamaño del sector en base al parque automotriz

Entre los años 2001 a 2007 se ha observado un aumento sostenido del parque automotriz, marcando un hito en 2004, año en que se prácticamente se triplica la tasa de crecimiento anual en comparación a los años 2000 a 2003 (de 1-2% a 4,68%) y luego se mantiene un alza sostenida sobre el 6% en los años siguientes. El año 1992 se contabilizaban sólo 1.143.979 vehículos, lo que implica que al 2007 el parque vehicular ha aumentado en un 147%. El crecimiento acumulado entre el 2002 y el 2007 fue de un 27,3%.

En el 2007, el 97,8% del parque correspondió a vehículos motorizados de uso privado y público y el 2,2% restante a vehículos no motorizados (casas rodantes, remolques y semi remolques). De los vehículos motorizados, la Región Metropolitana concentra el 43,12%, seguida por las Regiones V y VIII, cada una con un poco más del 10%, y luego las regiones VII y VI. En el extremo sur, Aysén alberga el 0,59% y Magallanes y Antártica el 1,54%. Esta información de entrega en detalle en las tablas 2.5 y 2.6.

Tabla 2.5 Evolución del parque automotriz

año	Motorizados	No motorizados	Total	Variación porcentual
2001	2.123.441	53.060	2.176.501	
2002	2.164.540	53.522	2.218.062	1,91%
2003	2.195.878	54.146	2.250.024	1,44%
2004	2.298.620	53.042	2.351.662	4,52%
2005	2.444.571	56.777	2.501.348	6,37%
2006	2.599.425	58.467	2.657.892	6,26%
2007	2.762.593	61.977	2.824.570	6,27%

(Fuente INE Anuarios Parque Automotriz 2000-2007)

Tabla 2.6 Total Parque automotriz por Regiones (año 2007)

	Total	% por región	Motorizado	No motorizado
AÑO 2007	2.824.570		2.762.593	61.977
XV de Arica y Parinacota	40.964	1,45%	40.056	908
I de Tarapacá	72.666	2,57%	71.213	1.453
II de Antofagasta	106.399	3,77%	102.745	3.654
III de Atacama	50.845	1,80%	48.167	2.678
IV de Coquimbo	101.611	3,60%	99.497	2.114
V de Valparaíso	287.282	10,17%	281.995	5.287
Metropolitana de Santiago	1.217.938	43,12%	1.201.105	16.833
VI de O'Higgins	150.205	5,32%	145.489	4.716
VII del Maule	166.793	5,91%	160.335	6.458
VIII del Bío-Bío	292.839	10,37%	283.704	9.135
IX de La Araucanía	117.495	4,16%	114.369	3.126
XIV de Los Ríos	45.294	1,60%	43.825	1.469
X de Los Lagos	114.177	4,04%	111.322	2.855
XI Aysen	16.589	0,59%	16.260	329
XII Magallanes	43.473	1,54%	42.511	962

En el Anexo 3.1 se incluye el detalle de la evolución histórica del parque vehicular por tipo de

uso, el cual incluye, de acuerdo a estadísticas del INE, vehículos livianos (particulares o comerciales), transporte público y transporte de carga, que corresponderían al foco de este estudio. Además estas estadísticas incluyen maquinarias de tipo agrícola y forestal, las cuales no serán consideradas para la cuantificación de potenciales NFU de carretera, pero si en la evaluación de cantidad de neumáticos del tipo OTR, industriales, mineros y similares, en el mercado.

Para determinar la cantidad de Neumáticos en Uso⁴, se consideró la diferenciación indicada en el párrafo precedente, cuantificando el número de neumáticos por vehículo, de acuerdo a los siguientes factores promedio: vehículo liviano: 4 unidades; vehículos de transporte público: 6 unidades para transporte colectivo (taxibuses) y 8 unidades para buses; vehículos de carga: 6 unidades para camión simple, 8 unidades para tractocamión y 10 unidades para remolques. El resultado de dicha cuantificación se indica en la tabla 2.7

Tabla 2.7 Detalle de evolución histórica de cantidad de neumáticos de carretera en uso

Año	Total vehículos livianos (particulares y comerciales)	total neumáticos	Total vehículos transporte publico	total neumáticos	Total vehículos transporte carga	total neumáticos	Total Neumáticos en uso
2002	1.960.466	7.841.864	43.755	325.936	158.232	1.145.368	9.313.168
2003	1.995.764	7.983.056	44.580	334.594	154.998	1.122.554	9.440.204
2004	2.091.976	8.367.904	46.612	350.708	160.719	1.160.080	9.878.692
2005	2.225.289	8.901.156	49.926	375.310	167.791	1.218.414	10.494.880
2006	2.359.933	9.439.732	51.531	385.454	174.578	1.267.162	11.092.348
2007	2.490.525	9.962.100	53.357	400.364	185.489	1.350.248	11.712.712

2.2.2 Evaluación en base a estadísticas de producción, importación y exportación.

a) Producción nacional.

La única empresa nacional que elabora neumáticos es Goodyear, quien produce cerca del 30% de los neumáticos comercializados en el país y exporta más del 80 % de su producción, principalmente al mercado latinoamericano y norteamericano (neumáticos para automóviles, camionetas y camiones livianos que se pueden clasificar dentro del segmento de neumáticos de carretera). Cabe recalcar que los neumáticos vendidos en el mercado nacional provienen fundamentalmente de importación y el resto de la fracción fabricada en Chile que no se exporta. Las cuatro empresas que conforman CINCO generan más del 50% de las ventas del sector.

El volumen de venta de neumáticos a nivel nacional ha tenido un aumento sostenido en los últimos años, homologable a la tasa de recambio de los mismos (estimada en el punto anterior) y al crecimiento del parque vehicular. Si bien el crecimiento de este último ha sido un poco mayor al 6% en los últimos dos años y el crecimiento de las ventas fue cercano al 4%, se espera una leve baja, producto de la variabilidad del mercado financiero durante el 2007 y 2008. De acuerdo a estadísticas del INE, el índice de ventas físicas del sector de fabricación de productos de caucho aumentó un 32,3 % entre el 2002 y el 2007.

b) Exportaciones.

El levantamiento de información de exportaciones se basó en los códigos de identificación del Servicio de Aduanas, los cuales se detallan en el Anexo 4.1. Los principales productos

⁴ La estimación no considera los neumáticos OTR de minería, ya que éstos no se consideran en las estadísticas de parque vehicular.

exportados corresponden a neumáticos para automóviles y camiones livianos (ver Anexo 4.2).

Durante el año 2007 se exportaron más de 4,1 millones de neumáticos para vehículos livianos. Los principales destinos de estos productos para el año 2007 fueron Estados Unidos (29%), México (22%), Canadá (18%), Argentina (9%) y Brasil (9%). Además, se exportaron más de 723 mil unidades de neumáticos para camiones livianos. El principal destino para el año 2007 fue México (34%), históricamente los mayores envíos han sido a México y Brasil; en este caso los neumáticos exportados son para camiones livianos.

Se debe hacer notar que existió una limitada exportación de neumáticos para aeronaves (código 40113000) entre los años 2002 a 2004 pero en cantidades inferiores a 50 unidades/año. No se encontraron registros de exportación de neumáticos para distintos tipos de maquinarias en el período, tampoco de neumáticos usados o recauchados.

c) Importación y origen de los productos.

Dentro del estudio se recabó información desde registros de Aduana, respecto de la evolución histórica de la importación de los diversos tipos de neumáticos requeridos en el mercado. La información se presenta en el Anexo 4.3, diferenciada por código de producto y principales países de origen. Se observa una fuerte predominancia de la importación de neumáticos nuevos de origen chino, primeramente para vehículos livianos, buses y camiones, pero que en los últimos dos años también se ha extendido a neumáticos de maquinaria. Le siguen en importancia las importaciones desde Brasil.

Es importante mencionar que la importación de neumáticos usados de cualquier país de origen (código 4012) se encuentra prohibida, a través de la Resolución 1.108 del MINSAL 1994 (para prevenir el ingreso del mosquito *Aedes albopictus*), lo cual fue verificado en la revisión de datos de importación del Servicio de Aduanas, aún cuando se detectó que durante los años 2002 a 2005 se realizaron algunas importaciones de neumáticos usados o recauchados de camiones, en cantidades no superiores a 30 unidades por año, ingresados por la Zona Franca de Iquique. Una posible explicación a lo anterior podría ser que correspondieron a productos con llanta, por lo cual el riesgo de ingreso de insectos se considera mínimo.

El balance de los datos de importación y exportación de neumáticos, de acuerdo a los datos estadísticos reportados previamente, se entrega en la tabla 2.8

Tabla 2.8 Balance importaciones- exportaciones totales de neumáticos (unidades)

Año	Importación (unidades)	% variación anual	Exportación (unidades)	% variación anual
2002	1.158.955		2.437.183	
2003	1.258.766	8,61%	3.340.351	37,06%
2004	1.477.170	17,35%	5.068.751	51,74%
2005	1.735.718	17,50%	5.175.850	2,11%
2006	1.615.364	-6,93%	4.302.281	-16,88%
2007	2.187.966	35,45%	4.832.850	12,33%

Fuente: información del Servicio de Aduanas

De acuerdo a información entregada por CINC, la razón del quiebre de la tendencia entre el 2005 y el 2006 se explica por un sobrestock generado a fines del 2005 por las grandes importadoras, pero que corresponde a producto que se comercializó el año 2006, adicionalmente en el mismo período se cerró la planta de Bridgestone en Chile, lo cual aumentó los requerimientos de importación que ya no podrían ser cubiertos por producción nacional.

Otro aspecto necesario de relevar es la problemática en el uso de las glosas de importación, ya que se ha detectado que algunos neumáticos ingresan dentro del ítem repuestos, o bien como

caucho, faltando en ocasiones las especificaciones mínimas de los mismos, lo cual complica su identificación correcta y cuantificación exacta.

2.2.3 Evaluación de neumáticos comercializados a nivel nacional

El detalle del total de neumáticos que se comercializan a nivel nacional se estimó en base al balance de las importaciones y del porcentaje de producción nacional que no se exporta según el siguiente detalle.

Tabla 2.9 Clasificación de neumáticos importados por tipo (unidades)

Año	total	De automóviles	De buses y camiones	De maquinaria agrícola y forestal	De maquinaria construcción diámetro <61 cm.	De maquinaria construcción diámetro > 61 cm.	De minería
2.002	1.158.955	753.668	363.753	21.163	8.816	2.764	8.791
2.003	1.258.766	758.119	455.729	21.018	8.761	5.635	9.504
2.004	1.477.170	880.460	550.350	23.708	7.693	6.400	8.559
2.005	1.735.718	1.007.241	653.810	47.852	4.399	7.361	15.055
2.006	1.615.364	867.675	663.862	27.616	6.733	6.231	43.247
2.007	2.187.966	1.202.488 (55%)	849.640 (38,8%)	27.422 (1,3%)	47.202 (2,2%)	5.124 (0,2%)	56.090 (2,6%)

Fuente: información del Servicio de Aduanas

De acuerdo a la información anterior, el 93,8% de los neumáticos importados (2.052.128 unidades al 2007), corresponderían al segmento de autos/camionetas y buses/camiones (neumáticos de carretera) y solo un 6,2% (135.838 unidades al 2007) correspondería a neumáticos de tipo OTR, industrial y minero. Adicionalmente, a los datos de importación de neumáticos de carretera se les debe sumar la producción que queda en el mercado nacional⁵, para llegar a cerca de 2,7 - 2,8 millones de unidades de consumo interno, según datos entregados por CINC, por lo cual el porcentaje efectivo que representarían los OTR y similares, en unidades, no superaría el 5 % del total de neumáticos comercializados anualmente.

De acuerdo a las estadísticas de ventas entregadas por CINC, el segmento de mercado que abarcarían las 4 empresas asociadas (datos año 2007) correspondería al siguiente:

Neumáticos de carretera: 1.424.536 unidades (50,9% del total del mercado)

Autos y camionetas 1.113.448 unidades

Buses y camiones 311.088 unidades

OTR y similares: 30.425 unidades (22,4% del total en el mercado)

Adicionalmente a los datos de importación de neumáticos, existe información preliminar del ingreso al país de neumáticos (al parecer del tipo uso en carretera) utilizados como "elementos protectores" para otros productos importados; sin embargo no existe ningún antecedente preciso de la magnitud de este ingreso, dado que actualmente no existen controles al respecto, además de que se estaría contraviniendo, en cierta forma, la norma de prohibición de ingreso de neumáticos usados del MINSAL.

En base a la información anteriormente expuesta y como una opinión consensuada de las principales empresas del sector agrupadas en CINC se determinó no considerar inicialmente, dentro del diagnóstico detallado y de una posterior primera propuesta de gestión de NFU, a los neumáticos tipo OTR y similares, debido a la dispersión de su ubicación actual, además de razones de índole técnica, fundamentadas en la no existencia actual o en el corto plazo de

⁵ Ya que en Chile no se fabrican neumáticos del tipo OTR o similares

maquinaria o sistemas que permita su tratamiento y valorización, y su baja representatividad numérica frente al mucho mayor volumen de potenciales NFU generados desde neumáticos de carretera que si podrían gestionarse en el corto plazo. Otras razones que justifican esta decisión son de tipo logístico, pues el modelo a proponer considera la recolección de neumáticos de carretera que actualmente ya manejan parte de las empresas de CINC y por la gradualidad del sistema a proponer (situación que como se vera más adelante, en el estudio, también ha ocurrido en otros países que cuentan con sistemas de gestión de NFU, orientados básicamente a neumáticos de carretera).

2.2.4 Estimación de niveles de reemplazo de neumáticos de carretera y generación de NFU

Para verificar cuando los neumáticos deben ser cambiados o dar termino a su vida útil, se dispone de "testigos" de desgaste. Cuando esos testigos pueden observarse en la superficie el dibujo de la banda de rodado ha llegado a su profundidad mínima legal. Cuando se sobrepasa este límite el neumático pierde eficacia y la conducción se hace insegura. Este momento para el cambio de neumáticos viene establecido por ley, pero los expertos recomiendan no esperar a llegar al límite legal. (Eroski, 2006)

Generalmente los fabricantes de neumáticos recomiendan una profundidad mínima de 3 mm de profundidad de dibujo o huella para garantizar la seguridad del vehículo. Con el mismo objetivo, en muchos países existen normas de seguridad de tránsito que establecen la profundidad mínima de dibujo en 1.6 mm (lo cual se encuentra establecido en Chile en la NCh 1942 /3). Esta es una razón por la cual existe un significativo mercado mundial de neumáticos usados, hacia aquellos países que no cuentan con este tipo de normas. Actualmente los neumáticos poseen, en promedio, una vida útil de 30.000 a 300.00 Km, aunque esto depende del desgaste lo cual es función en gran medida del uso, del mantenimiento del vehículo, de la carga que transporta y del estado de las rutas por las que transita.

A nivel internacional, y también nacional⁶, se estiman valores de recambio de neumáticos livianos cada 4 a 5 años (para la totalidad de los neumáticos), o recambio de pares cada dos años (si se realiza rotación de los mismos), o visto de otra forma, cerca de un neumático por año. Para vehículos de carga el factor de uso es mayor, considerándose un valor de recambio de 1,5 a 2 neumáticos promedio por año por cada cuatro.

Sin embargo, para neumáticos de buses y camiones se debe considerar la tasa actual de recauchaje, la cual se estima a nivel nacional, del 20% para buses y del 35% para camiones de carga, indicándose además que un neumático de bus o camión podría recaucharse hasta 3 veces⁷, si su calidad lo permite. Como el recauchaje es una alternativa que permite extender la vida útil de un neumático, si se realiza adecuadamente, no se le considerará una opción de valorización, sino más bien de prevención.

El valor de recambio total que se maneja actualmente dentro de las empresas del rubro (considerando que un porcentaje se va a recauchaje) es cercano a 2.7 millones de unidades anuales, de acuerdo a información validada por CINC. De acuerdo a las estimaciones realizadas en este estudio, basadas en el parque automotriz se obtuvieron cifras similares, las cuales se detallan en las tablas siguientes.

Los factores considerados para el cálculo del recambio promedio fueron los siguientes²:

⁶ De acuerdo a datos recabados desde empresas distribuidoras de vehículos livianos, empresas de transporte colectivo, transporte de carga y usuarios a nivel nacional.

⁷ Información entregada por CNDC, Confederación Nacional Dueños de Camiones. Datos de recauchaje promedio obtenidos desde empresas de buses (Pullman, Turbus, 22%), flotas de camiones de carga de distintas faenas (promedio 70%), CNDC (60%), camiones de empresas de manejo residuos (10% a 15%).

- Vehículos livianos: 0,8 por año (promedio vida útil alrededor 4 a 5 años).
- Vehículos de transporte público: 4 por año.
- Vehículos de carga: 4 por año.

La tabla 2.10 entrega los resultados de la estimación de recambio total por tipo de vehículo, restando el porcentaje que se envía a recauchaje (en unidades), a partir de los datos detallados en la tabla 2.7

Tabla 2.10 Estimación de la variación histórica de neumáticos de recambio

Año	vehículos livianos (particulares y comerciales)		Transporte público				Transporte de carga				Total NFU
	total neumáticos	NFU	total neumáticos	Recambio inicial	Recauchaje	NFU	total neumáticos	Recambio inicial	Recauchaje	NFU	
2002	7.841.864	1.568.373	325.936	175.020	35.004	140.016	1.145.368	632.928	221.525	411.403	2.119.792
2003	7.983.056	1.596.611	334.594	178.320	35.664	142.656	1.122.554	619.992	216.997	402.995	2.142.262
2004	8.367.904	1.673.581	350.708	186.448	37.290	149.158	1.160.080	642.876	225.007	417.869	2.240.609
2005	8.901.156	1.780.231	375.310	199.704	39.941	159.763	1.218.414	671.164	234.907	436.257	2.376.251
2006	9.439.732	1.887.946	385.454	206.124	41.225	164.899	1.267.162	698.312	244.409	453.903	2.506.748
2007	9.962.100	1.992.420	400.364	213.428	42.686	170.742	1.350.248	741.956	259.685	482.271	2.645.434

Para el cálculo del total de neumáticos en desuso, NFU, se restó el porcentaje de neumáticos de buses y camiones que va a recauchaje. Bajo el anterior supuesto, el volumen de neumáticos de recambio que se destina a recauchaje sería cercano al 23% del total en toneladas, u 10,2 % del total, en unidades.

Por otra parte, los vehículos importados cada año traen consigo neumáticos nuevos, los cuales no pertenecen a ninguna de las categorías antes mencionada. Estos neumáticos se desechan en el momento del recambio, por lo que estarían incluidos en la categoría de recambio.

De acuerdo a la evaluación realizada, y considerando el aumento de vida útil por recauchaje de algunos tipos de neumáticos, la generación de neumáticos usados, NFU, finalmente sería la indicada en la tabla 2.11.

Tabla 2...11 Estimación total de NFU (año 2002 – 2007)

Año	Total Neumáticos en uso	Total Neumáticos Recambio	Recauchaje (número)	Recauchaje (ton)	% recauchaje (ton)	% recauchaje (unidades)	NFU final	ton/año NFU
2002	9.313.168	2.376.321	256.529	11.711	23,5%	10,80%	2.119.792	38.190
2003	9.440.204	2.394.923	252.661	11.534	23,2%	10,55%	2.142.262	38.161
2004	9.878.692	2.502.905	262.296	11.974	23,1%	10,48%	2.240.609	39.776
2005	10.494.880	2.651.099	274.848	12.547	23,0%	10,37%	2.376.251	41.984
2006	11.092.348	2.792.382	285.634	13.039	22,9%	10,23%	2.506.748	43.918
2007	11.712.712	2.947.804	302.370	13.803	22,9%	10,26%	2.645.434	46.347

De estos datos se observa que para el año 2007, la estimación fue cercana 2,65 millones de unidades, cifra similar a la que manejan las empresas del sector (alrededor de 2,7 millones de unidades) para ventas.

Para la estimación de las toneladas de NFU indicadas en la tabla 2.11 se consideraron los pesos

promedio de neumáticos nuevos, a los que se les aplicó un factor de pérdida de peso por desgaste de la banda de rodamiento del 17% (valor promedio entregado por CINC).

- Vehículos de transporte público y carga: 55 Kg. /neumático; peso NFU: 45,65 Kg.
- Vehículos livianos 10 Kg. / neumático; peso NFU 8,3 Kg.

El valor final de la estimación para el año 2007 fue de 46.347 toneladas anuales. Este valor es bastante cercano al indicado por las estadísticas que maneja CINC, basadas en datos de ventas anuales del sector (alrededor de 44 mil toneladas año). La diferencia entre ambos valores no supera el 5 % y puede radicar en los diferentes datos de origen usados para el cálculo.

En el punto 2.4.3 se entrega una estimación del destino actual de los NFU en el país.

Considerando la misma metodología de cálculo precedente, se desarrolló una estimación de los NFU generados por región, basada en la distribución del parque vehicular (cantidad y tipo de vehículo) de las estadísticas del INE para el año 2007, la cual se detalla en la tabla 2.11A.

Tabla 2.11A Estimación total de NFU por región

Región	Total Neumáticos en uso	Total Neumáticos Recambio	Recauchaje (número)	Recauchaje (ton *)	% Recauchaje (Ton)	NFU final	ton/año) NFU	Distribución regional NFU
XV de Arica y Parinacota	173.702	43.238	4.378	333	33,2%	2.119.792	38.190	1,45%
I de Tarapacá	304.810	74.858	7.290	688	38,0%	2.142.262	38.161	2,42%
II de Antofagasta	453.906	119.906	15.071	485	19,1%	2.240.609	39.776	4,37%
III de Atacama	227.274	65.166	10.614	531	29,7%	2.376.251	41.984	2,65%
IV de Coquimbo	424.478	108.330	11.635	1.255	42,0%	2.506.748	43.918	3,74%
V de Valparaíso	1.199.470	295.774	27.482	1.026	18,5%	2.645.434	46.347	9,83%
Metropolitana de Santiago	4.904.822	1.171.802	93.497	1.215	6,8%	-		36,09%
VI de O'Higgins	642.122	174.114	22.471	1.829	36,8%	38.860	671	6,71%
VII del Maule	716.662	194.242	26.613	682	16,5%	67.568	1.121	7,35%
VIII del Bío-Bío	1.245.990	328.599	40.061	720	11,4%	104.836	2.048	12,03%
IX de La Araucanía	492.278	128.856	14.945	110	4,9%	54.552	1.257	4,63%
XIV de Los Ríos	192.052	50.738	6.226	178	17,1%	96.695	1.736	1,84%
X de Los Lagos	484.806	129.422	15.769	4.268	65,6%	268.293	4.530	4,80%
XI Aysen	70.994	19.155	2.411	284	46,1%	1.078.305	16.555	0,71%
XII Magallanes y Antártica	179.346	43.601	3.908	200	23,9%	151.643	3.134	1,38%

La región Metropolitana concentra casi el 36% de la generación de NFU, si se consideran las regiones de la zona central (V a VII Región), el porcentaje de generación estaría cercano al 60%. La zona norte (hasta la IV Región), genera el 14,6%, y la zona sur (VIII a X Regiones) un 23,3%. Las regiones del extremo sur (XI y XII) sólo generan un 2,1%.

2.2.5 El caso de los neumáticos de minería de alto tonelaje

Una de las inversiones más importantes del rubro minero, con respecto a los camiones de carga de alto tonelaje, son los neumáticos, insumo que actualmente es escaso por la disminución de la oferta, por lo que la idea es aprovechar al máximo los neumáticos utilizados, no sólo por la falta de éstos sino también por su alto precio (de US\$ 20.000 a US\$ 50.000) para neumáticos de hasta 4 metros de diámetro y mas de 5 toneladas de peso. El ítem neumático, en cualquier explotación minera está dentro de los tres o cuatro principales gastos de operación. Los tamaños van desde un neumático de menos de un metro de altura, para pequeños equipos subterráneos hasta los neumáticos de 4 metros de altura, para los equipos de transporte que se utilizan actualmente.

Según cifras de COCHILCO (ver tabla 2.12), entre el 2007 y el 2011 su demanda aumentará un 29%, alcanzando las 8.128 unidades, necesidad que no logrará ser satisfecha por la producción local e importación, lo que ha llevado a que sus precios bordeen los US\$ 40.000 por unidad, en promedio. Ante ese escenario, las mineras han debido reordenar y generar estrategias corporativas para asegurar la obtención de estos recursos⁸

Tabla 2.12 Consumo de neumáticos para camiones mineros de alto tonelaje

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Unidades /año	6.212	6.257	6.526	7.456	7.526	7.593
Costo MUS\$	99	100	104	119	120	121

Fuente: Comisión Chilena del Cobre, COCHILCO

⁸ fuente www.minergia.cl

Las marcas de neumáticos más reconocidas son Bridgestone/Firestone, Michelin, Goodyear, Pirelli, Hankook entre otras⁹, sin embargo, en el último tiempo, dada la escasez están conociéndose las marcas de origen chino (por ejemplo: Torch, Hilo, Advance y Resources), que están siendo probadas en diferentes compañías mineras para determinar su calidad. Éstos cuestan entre 40 o 50 por ciento menos que uno de una marca tradicional. El precio de los neumáticos chinos es un poco más elevado que un recauchaje, lo que ha derivado en que algunas empresas prefieran desembolsar un poco más y probar con un neumático nuevo chino en lugar de reparar el dañado.

No existe una regla fija de la duración de un neumático de minería, ya que en una faena puede durar 5 mil horas, mientras que en otra puede tener una vida útil de 3 mil horas. En cada faena, de diferentes condiciones, el neumático tendrá un comportamiento distinto. Otras fuentes de información indican que un neumático nuevo para el pesado equipo de la minería puede durar entre 6.000 y 8.000 horas y uno recauchado entre 1.000 y 3.000 horas¹⁰. Sin embargo, un neumático dañado, puede ser reparado o recauchado de acuerdo al diagnóstico que se le realice.

Se estima que actualmente existen sobre 25.000 neumáticos de minería fuera de uso en la zona de la II región, los cuales podrían ser reciclados por la empresa SENSEI AMBIENTE (División CODELCO Chuquicamata), esperando partir durante el 2009, según se detalla más adelante en este estudio.

De acuerdo a las estadísticas de COCHILCO, indicadas en la tabla precedente, podría estimarse una generación anual en los últimos años de entre 6000 y 6500 NFU del tipo OTR de minería. Si se asume un peso promedio de cada uno cercano a las 2 toneladas, la generación de este tipo de NFU sería del orden de las 12.000 a 13.000 toneladas anuales, sin considerar la estimación de NFU minero acumulado sólo en la II región. (25.000 NFU, equivalente a 50.000 toneladas más).

2.2.6 Canales de comercialización.

Los principales canales de comercialización de neumáticos son las distribuidoras, quienes reciben el producto desde las importadoras o empresa fabricante. Las distribuidoras venden directamente, tanto a empresas de distintos rubros como a personas naturales, estos a su vez, se convierten en los usuarios finales de neumáticos. Para el caso de personas naturales, al momento de realizar el recambio, normalmente las distribuidoras reciben los NFU generados (ver figura 2.3).

Los usuarios de buses y camiones recauchan sus neumáticos para aumentar su vida útil; este recauchaje se puede realizar en promedio dos veces, llegando incluso a tres en, si la condición del neumático lo permite. En tanto, los usuarios de vehículos livianos realizan sus recambios en las distribuidoras o en talleres automotrices. En general, y de acuerdo con la información recabada en visitas a estas empresas, el usuario en su mayoría deja en dichos lugares los NFU, los que luego son enviados a algún lugar de disposición final, que en la mayoría de los casos no es conocido o bien se comercializan a través de un mercado informal.

El estudio recabó información de que este mercado informal de comercialización de neumáticos usados se desarrolla a través de talleres de autos (reparadoras de neumáticos), quienes en algunos casos realizan servicios de recambio y reciben el neumático usado, o bien los mismos talleres compran neumáticos a través de los operarios de algunas distribuidoras a un valor promedio de \$ 2.000 por unidad, los que se devuelven al mercado por un precio de alrededor de \$ 5.000 por unos seis meses o menos. De acuerdo a información recabada en terreno, en algunas distribuidoras esta reventa puede involucrar hasta el 40% de los neumáticos dejados por los usuarios, los que entrarían a este tipo de comercialización. Este

⁹ Fuente www.cochilco.cl

¹⁰ Fuente Revista Minería chilena (26/05/06)

tipo de neumático, según información de los mismos talleres, es comprado por usuarios de vehículos más antiguos. Lo anterior podría transformarse en un problema importante al tratar de establecer un sistema de gestión de NFU, siendo necesario establecer algún tipo de control legal que reduzca este tipo de prácticas. No obstante, lo anterior, también se han detectado distribuidoras que gestionan de mejor forma los NFU y, según indican, los envían para uso en rellenos sanitarios.

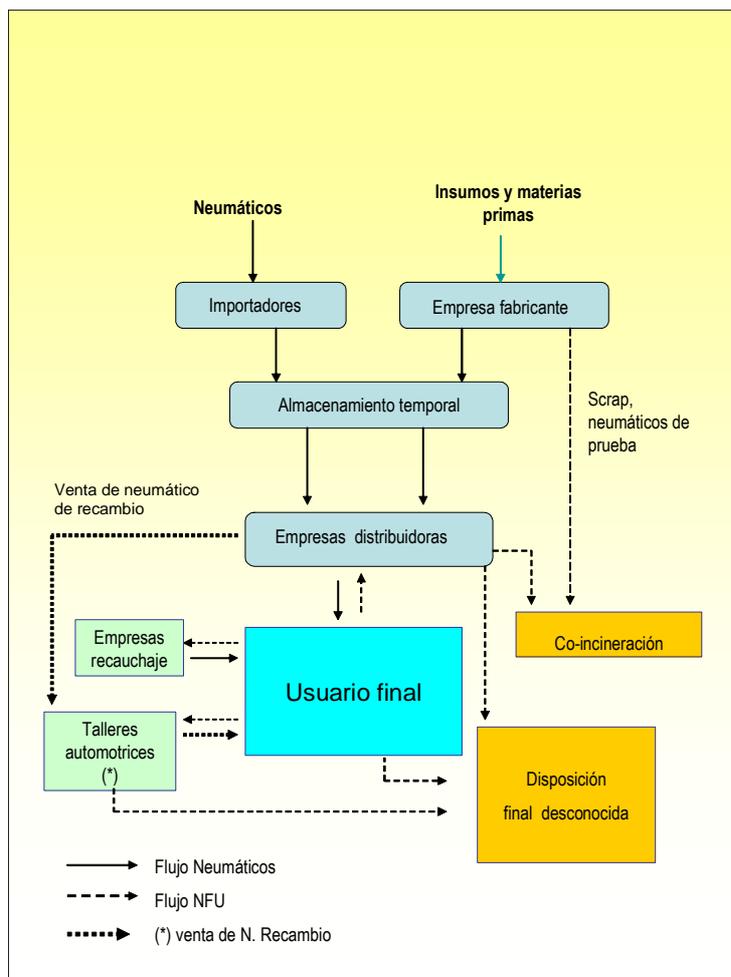


Figura 2.3 canales de comercialización de neumáticos y ciclo de los NFU

2.2.7 Evolución del sector en los últimos años y proyecciones para los próximos 10 años.

Sobre la base del levantamiento de información desarrollado en las etapas anteriores se evaluó la condición de evolución del rubro en los últimos años. Dicha información permite determinar una proyección de crecimiento de los próximos años. Esta proyección se establece inicialmente, en base a la tasa de crecimiento del rubro y del parque automotriz a nivel nacional, considerando un promedio del 4% anual y descontando el volumen de neumáticos que se envía a recauchaje, cuya estimación se ha determinado previamente.

Tabla 2.13 proyección del crecimiento del sector basada en parque automotriz y tasa de recambio

Año	Neumáticos Requeridos
	2.875.450
2008	2.990.468
2009	3.110.087
2010	3.234.490
2011	3.363.870
2012	3.498.424
2013	3.638.361
2014	3.783.896
2015	3.935.252
2016	4.092.662
2017	4.256.368

Por otra parte, a nivel mundial se estima que en los próximos 30 años el número de vehículos doblará su cantidad, llegando a 1.600 millones, con la problemática que involucra un mayor consumo de materias primas. Actualmente ya existe menor disponibilidad de caucho o de acero. Para mantener el mercado será necesario aumentar la vida de los neumáticos, pero para ello habrá que reducir el desgaste por rozamiento, lo que permitirá, a su vez, reducir los consumos y también el ruido. Gran parte del ruido del tráfico no procede del motor, sino del golpeteo de los neumáticos sobre el pavimento.

En la fabricación de un neumático intervienen hasta 200 materiales diferentes. El principal de ellos es el caucho pero también se utiliza el acero, las telas, y otras sustancias. Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el 2010 los países en desarrollo consumirán más caucho (4,4 millones de toneladas anuales) que los más industrializados (3,5 millones). Adicionalmente, la tendencia de las sucesivas generaciones de autos a ser cada vez mayores y más pesados somete a un mayor desgaste a los neumáticos, que deben utilizar compuestos más resistentes.

Los vehículos híbridos con motores combinados eléctricos y de gasolina, son menos nocivos con el medio ambiente por sus bajas emisiones. Sin embargo, figuran entre los que más castigan las cubiertas de los neumáticos por su gran motor.

El neumático consume entre el 20 y el 25% de la energía generada por el motor, ya que el vehículo debe vencer el rozamiento que se opone al avance. A esto hay que añadir que los vehículos sólo aprovechan un tercio de la energía del combustible.

El negro de humo y la sílice son los componentes de refuerzo más utilizados en los compuestos de caucho de los neumáticos. Los procesos de producción de ambos requieren recursos no renovables y generan emisiones de CO₂.

Teniendo en cuenta los problemas ambientales derivados del uso y producción de neumáticos, se están desarrollando proyectos de investigación para el uso de materiales biológicos y cultivos renovables, como el maíz, en el desarrollo de productos de relleno para neumáticos de nueva generación.

Una de las ideas es reemplazar parcialmente los componentes de refuerzo no renovables del caucho por rellenos biopoliméricos basados en recursos renovables y, al mismo tiempo, conseguir una reducción sustancial –que podría ser de hasta un 30%- de la resistencia a la rodadura del neumático, reduciendo así la emisión de CO₂ y el consumo de combustible.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS COMERCIALIZADOS EN CHILE.

La caracterización del producto fue determinada sobre la base de información técnica revisada a nivel nacional e internacional y su validación por parte de las empresas del rubro.

2.3.1 Características genéricas de los neumáticos.

Los neumáticos corresponden al elemento elástico de las ruedas de los vehículos que actúa como una envoltura y que contiene aire a presión, la cual tiene por objeto soportar las cargas que actúan sobre el vehículo y transmitir al terreno las fuerzas necesarias para el movimiento (Lund, 1998).

El neumático está compuesto principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. A su vez, el caucho usado en la fabricación de neumáticos está compuesto por polímeros, entre los que se cuentan, entre otros, el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común el estireno-butadieno, todos basados en hidrocarburos.

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la trabajabilidad 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 varias a horas a pocos 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.

El **Caucho natural (cis-poliisopreno)**, se extrae comercialmente a partir del látex del árbol *Hevea brasiliensis*. La materia prima del caucho natural es un líquido lechoso denominado látex. La estructura de la goma natural es principalmente cis-poli (1,4-isopreno), un polímero de cadena larga, mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas además de otros componentes.

2.3.1.1 Estructura de un neumático.

Las partes principales que componen un neumático son las siguientes¹¹ (ver figura 2.4):

(1) Banda de rodamiento (tread): superficie que está normalmente en contacto directo con el suelo, proporciona tracción, durabilidad y capacidad de frenado, debiendo resistir la abrasión y el desgaste.

(2) Surco (Tread groove): espacio comprendido entre dos resaltes adyacentes en la banda de rodadura.

(3) Lateral (sidewall): es la parte de un neumático entre la banda de rodamiento y la pestaña de la llanta.

¹¹ Definiciones basadas en la NCh 1776 /85 (Neumáticos. Definiciones).

(4,5) Tela ("Ply"): corresponde a una o más capas de cuerdas paralelas revestidas con goma material bajo de la banda de rodamiento.

(6) Capa interna (Innerliner): corresponde a la o las capas impermeables al aire y a la humedad que forman la superficie interior de un neumático tubular y que mantienen el medio de inflado del neumático.

(7) Carcasa: estructura del neumático formada por cuerdas impregnadas con caucho que incluye la pestaña y soporta la presión de inflado. Encargadas de amortiguar los golpes. Puede ser de acero, dependiendo del neumático.

(8) Ancho de sección (Section width): corresponde a la mayor distancia lineal entre la parte exterior de los laterales de un neumático inflado, excluyendo sobrerrelieves debidos a marcas, decoraciones o ribetes de protección

(9) Cinturón (Belt): capa formada por dos o más telas, colocadas bajo la banda de rodamiento que refuerza circunferencialmente la carcasa y que tiene por objeto dar estabilidad a la banda de rodamiento y absorber los golpes.

(10) Pestaña (Bead): parte del neumático diseñada para adaptarse a la llanta, constituida por alambres de acero revestidos con goma dispuestos circunferencialmente y envueltos por telas. Su función es amarrar el neumático a la llanta y tener alta resistencia a la rotura. A mayor resistencia de la pestaña mayor capacidad de carga tendrá el neumático.

(11) Chafer: material en el área de la pestaña que protege la carcasa de abrasión por el giro de la llanta.

Paredes laterales: Es la parte de la estructura que va de la banda de rodamiento hasta el talón, siendo revestida por un compuesto de caucho con alta resistencia a la fatiga por flexión.

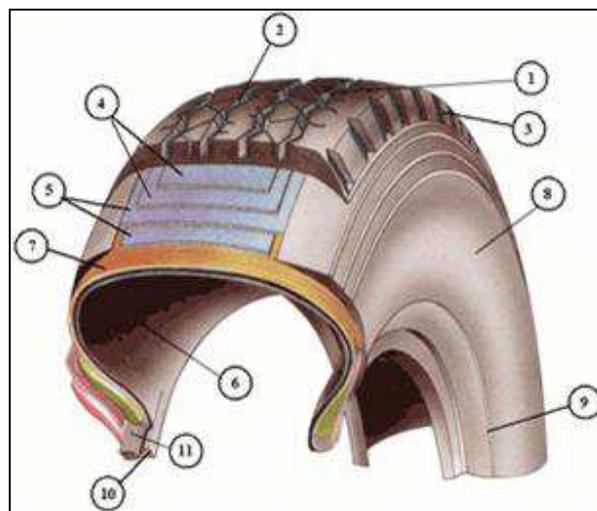


Figura 2.4 Partes componentes de un neumático

Los tipos más comunes de neumáticos son¹²

¹² UNEP/CHW.9/18, 2008; INN/NCh 1776/85

Neumático convencional o diagonal o convencionales(diagonal tyre):corresponde a un neumático de estructura diagonal, en el cual las cuerdas de las telas se extienden desde una pestaña a otra y está dispuestas en ángulos alternados, menores a 90º con respecto al plano que pasa por la línea central de la banda de rodamiento.

Neumático diagonal con cinturón (BIAS-BELTED): neumático de estructura diagonal, cuya carcasa esta reforzada por un cinturón formado de dos o más telas, colocado bajo la banda de rodamiento y cuya finalidad es dar estabilidad a ésta y absorber los golpes.

Neumático radial (radial ply tyre): neumático en el cual las cuerdas de las telas se extienden de pestaña a pestaña y están dispuestas en un ángulo de 90º respecto al plano que pasa por la línea central de la banda de rodamiento y que cuenta con un cinturón circunferencial prácticamente inextensible cuya finalidad es dar estabilidad a la banda de rodamiento y absorber los golpes

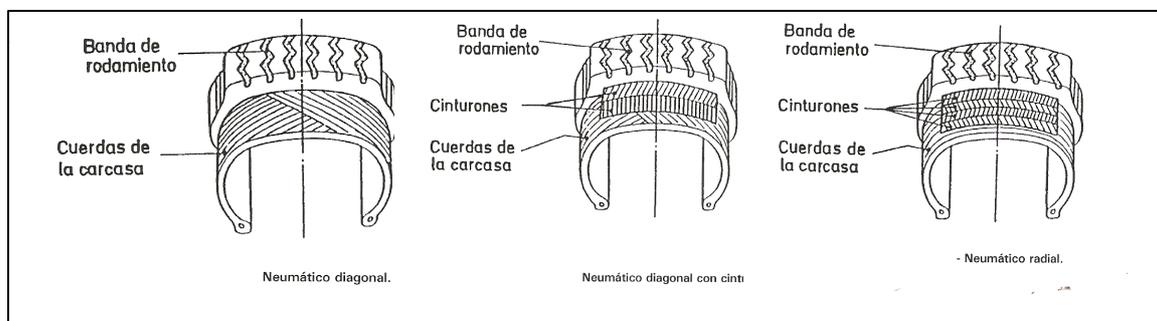


Figura 2.5 Tipos de neumáticos (Fuente NCh 1776/85)

Desde 1983, casi todos los neumáticos para los vehículos y camiones ligeros nuevos, así como casi los neumáticos de recambio vendidos para los mismos, han sido del tipo radiales con cintura de acero. Estos están comenzando a sustituir en los camiones pesados a los neumáticos diagonales que han sido la norma en la industria del transporte por carretera (Lund, 1998). Casi el 80 por ciento de todos los neumáticos vendidos actualmente son neumáticos radiales.

Las propias fuentes de la industria a nivel internacional estiman que un 85% de todos los neumáticos usados proceden de vehículos livianos o camionetas y un 14% de camiones pesados, el 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción, entre otros (Lund, 1998).

La pared lateral de un neumático contiene la información, que varía según el fabricante, que es necesaria para los usuarios al comprar los neumáticos que se adapten a sus necesidades (En Chile esta información está establecida en la NCh 1942/3 1985 "Neumáticos para automóviles de pasajeros- Parte 1. Requisitos"

2.3.1.2 Materias primas que componen un neumático.

Un neumático está compuesto de tres productos principales: caucho natural y/o sintético un encordado de acero y fibra textil. Se agregan además, otros materiales para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la trabajabilidad del caucho y antioxidantes, para aumentar la vida útil al reducir el efecto de la acción del oxígeno y el ozono; activadores como óxido de Zinc y de Magnesio, y negro de humo, que entrega mayor

resistencia a la abrasión y a la tensión.

La composición típica de materias primas de un neumático se muestra en la Tabla 2.14. La tabla 2.15 detalla algunas características de los principales materiales utilizados.

Tabla 2.14 Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos

Material	Automóvil	Buses y Camiones	Automóviles	Camiones
Caucho natural	14%	27%	48	45
Caucho sintético	27%	14%		
Negro de humo	28%	28%	22	22
Acero	14 - 15%	14 - 15%	15	25
Fibra textil,	16-17%	16-17%	5	-
Oxido de zinc			1	2
Aditivos			8	-
sulfuro			1	1
Peso promedio	8,6 Kg.	45,4 Kg.		
Volumen	0.06 m ³	0.36 m ³		

(Porcentajes en peso) Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008.

Los neumáticos de camiones y buses contienen una mayor proporción de caucho natural, en relación con el caucho sintético (camión 65% caucho natural, 35% caucho sintético) con el objeto de controlar mejor la generación de calor; en vehículos de pasajeros la proporción normalmente es de 25% caucho natural y 75% sintético) (UNEP/CHW.9/18, 2008).

La combinación de cauchos naturales y sintéticos, se realiza de modo de que los primeros, proporcionen elasticidad y los segundos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito.

Tabla 2.15 Materiales utilizados en la fabricación de neumáticos

Material	Características	Aplicaciones
Caucho Natural	Obtenido de la savia del árbol <i>Hevea brasiliensis</i> .	Actualmente representa alrededor del 30% al 40% en peso de los neumáticos de Pasajero y el 60% y el 70% de un neumático de camión.
Caucho sintético	Todos los cauchos sintéticos derivan de productos petroquímicos.	Caucho sintético representa alrededor del 60% al 70% en peso de un neumático de automóvil y alrededor del 30% al 40% de un neumático de camión.
Acero incluyendo materiales de revestimiento y activadores, cobre y estaño / zinc / cromo	El acero es grado Premium y sólo se fabrica en unas pocas plantas en todo el mundo debido a su alta calidad.	El acero es utilizado para proporcionar rigidez y resistencia a los neumáticos. Representa aproximadamente el 15% del peso de un neumático.

Materiales textiles de refuerzo	Derivados principalmente de productos petroquímicos.	Utilizados para resistencia estructural y rigidez. Representan alrededor del 5% en peso de un neumático radial.
Negro de carbón o negro de humo, sílice	Negro de humo obtenido por combustión o descomposición térmica parcial de gases naturales o hidrocarburos pesados. Este elemento permite conseguir mezclas más resistentes a la rotura y a la abrasión, dándoles el característico color negro. Sílice se deriva de arena o cuarzo.	Negro de humo y sílice proporcionan durabilidad y resistencia contra el desgaste. Corresponden al 28% en peso de un neumático.
Oxido de Zinc	Mineral.	El zinc es añadido para ofrecer resistencia a la degradación UV, y el control de vulcanización. El óxido de zinc representa aproximadamente el 1 -2% en peso de un neumático.
Azufre (incluidos sus compuestos)	Se utiliza para vulcanizar la goma ya que ayuda a la formación de redes entre las moléculas de caucho mediante puentes sulfurados, lo que permite obtener goma elástica	Representa alrededor de un 1% de un neumático.
Otros aditivos, auxiliares de proceso, aceleradores, agentes de vulcanización, suavizantes y rellenos.	Se utilizan en los distintos compuestos de caucho para modificar las propiedades del producto final.	Los aditivos representan alrededor del 8% del peso de un neumático.
Caucho reciclado	Recuperado de neumáticos usados y otros productos de caucho.	Algunos compuestos de caucho se utilizan en la fabricación de "nuevos" productos de caucho y materiales de recauchado.

Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008

Cerca de 1,5% del peso de un neumático se compone de elementos o compuestos que figuran en el Anexo 1 del Convenio de Basilea. Se trata de materiales presentes en los compuestos del caucho o en elementos de aleación, los cuales se detallan en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Sustancias peligrosas presentes en los neumáticos

Código Basilea	Denominación	Comentarios	Contenido (% Peso)	Contenido (gr.)**
Y22	Compuesto de Cobre	Aleación del constituyente del material metálico	Aprox. 0.02%	Aprox. 0.14 g
Y23	Componente de Zinc	Oxido de Zinc retenido en la matriz del caucho	Aprox. 1%	Aprox. 70 g

Y26	Cadmio	En niveles de rastro, como cadmio compone la sustancia acompañante del óxido de cinc	Máx. 0.001%	Máx. 0.07 g
Y3 1	Plomo, compuestos del plomo	En niveles de rastro, como sustancia acompañante del óxido de cinc	Máx. 0.005%	Máx. 0.35 g
Y34	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida	Ácido esteárico, en estado sólido	Aprox. 0.3 %	Aprox. 21 g
Y45	Compuestos organohalogenados que no sean sustancias en el anexo del Convenio de Basilea	Goma halógena de butilo	Contenido máximo de halógenos 0.10 %	Contenido de halógenos Máx. 7 g

**Estimado en base a un neumático de auto de 7 Kg. (Fuente UNEP/CHW.9/18, 2008)

Propiedades Físicas

Los neumáticos varían en función de su peso, su composición y uso, según se muestra en la Tabla 2.17, que contiene información sobre las categorías más comunes.

Tabla 2.17 A Peso promedio de un neumático.

Clasificación	Peso promedio (Kg.)	Unidades / ton
Automóvil de pasajeros	6.5 -10	154
Vehículos utilitarios (Incluyendo 4 x 4)	11.0	91
Camiones	52.5	19

Fuente UNEP/CHW.9/18, 2008 (Hylands and Shulman, 2003)

Tabla 2.17 B Peso medio de los neumáticos utilizados en la UE

Tipo de vehículo	Peso medio por neumático (Kg.)
Turismos ligeros	7 (6, 5-9)
Vehículos semi-ligeros	11
Camiones	50
Grandes trailers: Mínimo	55
Grandes trailers: Máximo	55-80
Maquinaria agrícola	100
Maquinaria industria/construcción	100

Fuente PNNFU España 2001-2006

Propiedades térmicas

Los neumáticos poseen excelentes propiedades de combustión en función de su alto contenido de carbono. Su valor calorífico neto es de entre 32 y 34 MJ / kg.

La tabla 2.18 entrega información sobre la composición química elemental de un neumático, en tanto la tabla 2.19 muestra el contenido de energía y las emisiones de CO₂ de los neumáticos en comparación con diversos combustibles.

Tabla 2.18 Análisis químico elemental de un neumático

Elemento	Porcentaje
Carbono (C)	70
Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1..3
Cloro (Cl)	0,2- 0,6
Fierro (Fe)	15
Oxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97 ppm
Níquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio	5-10 ppm
Talio	0,2-0,3 ppm

Fuente Ramos 1997

Tabla 2.19 Energía y emisiones de CO₂

		Emisiones	
		kgCO ₂ /t	kgCO ₂ /GJ
Neumáticos	32.0	2,720	85
Carbón	27.0	2,430	90
Pet coke	32.4	3,240	100
petróleo	46.0	3,220	70
Gas natural	39.0	1,989	51
Madera	10.2	1,122	110

Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008 (World Business Council on Sustainable Development (WBCSD), 2005 – CO₂ Emission Factors of Fuels)

Los neumáticos no experimentan combustión espontánea. Un estudio llevado a cabo por el Instituto de Investigación en Construcción de Inglaterra determinó que la temperatura mínima para la ignición es de 182°C; lo cual no se logra bajo condiciones ambiente normales.

Sin embargo, algunos fenómenos naturales (tales como relámpagos) y actos deliberados (como incendios provocados) generan condiciones que favorecen la combustión de neumáticos. Una vez iniciado un incendio de neumáticos es difícil de controlar, como resultado del calor generado.

2.3.1.3 Proceso de fabricación de neumáticos.

El proceso de fabricación de un neumático no presenta grandes diferencias entre las empresas y se compone de las siguientes etapas genéricas:

Mezcla:

En la operación de mezcla, diversos tipos de gomas naturales y sintéticas, combinadas en un mezclador interno para que cumplan las especificaciones del compuesto, se combinan a su vez con negro de humo y productos químicos. Esta mezcla se denomina la "Mezcla Base".

Calandrado:

El calandrado es el proceso por el cual un trozo de tela o un cable de acero se recubren, por ambos lados, con una película de goma. Las telas calandradas, como el rayón, nylon y poliéster, se utilizan para recubrir y rematar las capas que constituyen la carcasa de los neumáticos. El cable de acero se utiliza en las capas estabilizadoras.

Proceso de extrusión:

El rodamiento y la goma de los costados (dos compuestos de goma distintos) se moldean en sus formas específicas mediante tubadoras. Las tubadoras producen una banda continua de goma que después se enfría y corta a las longitudes específicas.

Preparación del talón:

El componente principal del talón, su núcleo, está formado por cables de acero que se devanan sobre un moldeador de talones con un número determinado de vueltas, para así conseguir el diámetro específico y la resistencia adecuada para cada neumático

Proceso de Ensamble: Consta de 2 etapas:

Etapa 1: Colocación del forro interno, de las capas de carcasa y de las paredes laterales en el tambor que da forma; colocación de los talones; vuelta automática de los bordes de la capa alrededor del núcleo del talón; las paredes laterales se mueven simultáneamente hasta alcanzar su posición

Etapa 2: La forma del neumático se consigue inflando con aire; colocación de dos capas estabilizadoras; una capa de recubrimiento y la zona de rodadura. Este proceso da lugar al "neumático verde".

Vulcanización:

El "neumático verde" se coloca en moldes en una prensa de curado y se efectúa la operación durante el periodo de tiempo prescrito (generalmente diez a quince minutos en el caso de neumáticos de pasajeros, para otros tipos el tiempo suele ser bastante mayor) a una presión y temperatura específica. Una vez logrado el tamaño, forma y tipo de rodado finales, el neumático es expulsado del molde.

Desbastado:

Se elimina el exceso de goma resultante del proceso de curado.

Inspección Final:

La calidad y uniformidad de cada neumático se inspecciona visual y electrónicamente. De esta forma se garantiza una consistencia y un rendimiento uniforme y seguro.

2.3.1.4 Normativas de calidad a nivel nacional e internacional.

Dentro de la normativa de calidad asociada a los neumáticos a nivel nacional, se encuentran las siguientes Normas Chilenas, basadas en Normas internacionales:

- NCh 1776 Of1985 Neumáticos, Definiciones. Basada en la Norma ISO 4223/1 "Definitions of some terms used in the tyre industry - Part 1- Tyres" y en la Norma N° 109 "New pneumatic tyres" del Departamento de Transportes de Estados Unidos. Norma declarada oficial por Decreto N° 125 del 6 de Septiembre de 1985 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
- NCh 1942/1.Of1985 Neumáticos para automóviles de pasajeros - Parte 1: Requisitos

Basada en la Norma 109 "New pneumatic tyres" del Departamento de Transportes de Estados Unidos y la Norma ISO 4000/1 -1982 "Passenger car tyres and rims -part 1: Ryres (metric series).

- NCh 1942/2.Of1985 Neumáticos para automóviles de pasajeros - Parte 2: Métodos de ensayo
- NCh 1942/3.Of1985 Neumáticos para automóviles de pasajeros - Parte 3: Recomendaciones de seguridad y criterios de selección. Norma declarada oficial por Decreto N° 125 del 6 de Septiembre de 1985 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (Entrega indicaciones respecto de cuando realizar el recambio de neumáticos en función de su desgaste, recomendaciones para el uso y almacenamiento de neumáticos).
- NCh 1963.Of1986 Neumáticos recauchados para automóviles de pasajeros - Requisitos. Norma declarada oficial por el Decreto N° 7 del 16 de Enero de 1986, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (Entrega requisitos para el neumático recauchado, plantas de recauchaje: operación, equipamiento y proceso).

De acuerdo a la información que las mismas Normas entregan, la entidad encargada de fiscalizar su cumplimiento sería el SEREMI de Transporte. No obstante se observa falta de fiscalización periódica. La única instancia actual operativa es el control realizado a los vehículos a través de la revisión técnica anual por plantas autorizadas o controles realizados por carabineros. Existe en trámite un proyecto de ley que complementa la Ley de Transito (Ley 18.290) en su artículo 198, penalizando el uso de neumáticos recauchados en mal estado en vehículos de locomoción colectiva, pero que no establece ni medidas de prevención ni controles.

Sólo dentro del D.S. 212/1992 (y sus modificaciones posteriores) se establecen algunos requerimientos mínimos de la profundidad del dibujo en la banda de rodamiento de vehículos de transporte (artículo 33) y la prohibición del uso de neumáticos redibujados (artículo 34).

Las Normativas existentes son antiguas y, básicamente, son utilizadas sólo como referencia, no existiendo a la fecha alguna actualización que considere los avances de la tecnología en los neumáticos actuales. Adicionalmente, No existen controles periódicos a las empresas que realizan servicios de recauchaje y tampoco a talleres o similares, para regular los procesos de reparación o la venta de neumáticos dados de baja por los usuarios, o bien la existencia de empresas que operan fuera de la legalidad, situaciones que deberían ser materia de un programa de fiscalización exhaustiva.

En relación con la normativa referida a requisitos de ingreso de neumáticos al país, actualmente sólo existe una prohibición de ingreso de neumáticos usados de cualquier tipo, por razones de salud pública más que de calidad, a través de la Resolución 1.108 del MINSAL 1994 (para prevenir el ingreso del mosquito Aedes albopictus, vector de la fiebre amarilla). El Servicio Nacional de Aduanas ha establecido el Plan Nacional de fiscalización 2007-2011, el cual se orienta básicamente a controlar y disminuir la evasión tributaria y controlar aspectos de salud pública como el ya mencionado¹³. Lo anterior permite que actualmente ingresen al país productos que eventualmente no cumplirían estándares de calidad y seguridad mínimos, ya que no existen en el país mecanismos de homologación, como los que posee Argentina, por dar sólo un ejemplo.

¹³ www.aduana .cl

Normativa internacional

Estados Unidos

La normativa Chilena existente se homologa a las Normas del Departamento de Transporte de Estados Unidos, (DOT). Excepto en los neumáticos para nieve, el Departamento de Transporte de los Estados Unidos establece que los fabricantes clasifiquen los neumáticos de autos de pasajeros basados en tres factores de desempeño: desgaste de la banda de rodamiento, tracción y resistencia de temperatura.

La clasificación de calidad describe comparativamente los niveles de desempeño de un neumático basados en ensayos especificados por el gobierno, pero encargados por los fabricantes de neumáticos individuales. Todos los fabricantes de neumáticos y propietarios de marcas comerciales tienen la obligación de clasificar los neumáticos normales usados en autos de pasajeros en estos tres factores de desempeño.

Unión europea

La División Transporte de la Comisión Económica de la Naciones Unidas para Europa (UN/ECE) ha desarrollado los estándares mínimos de construcción y certificación vehicular que se aplican en todos los países miembros. Los estándares se basan en Directiva 92/23/CEE que se refiere a los neumáticos de los vehículos de motor y de sus remolques, así como de su montaje, y sus Reglamentos Relacionados:

- Reglamento CEPE/ONU 30, Neumáticos para vehículos de pasajeros (turismo)
- Reglamento CEPE/ONU 54, Neumáticos para vehículos industriales
- Reglamento CEPE/ONU 75, Neumáticos para vehículos de motor de dos y tres ruedas
- Reglamento CEPE/ONU 108, Neumáticos recauchutados para vehículos automóviles y Reglamento CEPE/ONU 109, Neumáticos recauchutados para vehículos industriales (el código viene representado en el flanco de la rueda por E8 o E9 rodeado por un círculo).

Existe además la Homologación UE para EEUU y Canadá; este tipo de homologación no es obligatoria en Europa; solo es necesaria en el caso de que se exporten neumáticos a EEUU y Canadá; para comprobar si se tiene esta homologación se debe revisar el flanco de la rueda y buscar un número DOT. Además de lo anterior, cabe señalar que la Norma ISO 9001/2000 es obligatoria en Europa.

Argentina

En Argentina, se ha avanzado bastante en la materia; la ley N° 24.449 junto con el Decreto 779/95, establecidos para proteger la seguridad de los consumidores, designan a la Secretaría de Industria para establecer un sistema de Certificación de Homologación de Autopartes de Seguridad (C.H.A.S.) para todo componente o pieza destinada a repuestos de vehículos automotores, acoplados o semiacoplados que se fabriquen o importen en el país para el mercado de reposición. La Secretaría de Industria dictó la Resolución 91/2001, que regula el mercado de reposición de autopartes de seguridad para vehículos automotores, acoplados o semiacoplados.

El sistema generado a partir de la Resolución 91/2001 implica que toda autoparte que se comercialice en Argentina deberá demostrar que cumple con normas de seguridad estrictas. Para los productores esto implica presentar certificados de cumplimiento con las normas IRAM específicas. Además valida las autopartes importadas con los mismos certificados IRAM o certificados de adecuación a las normas internacionales (ver listado en Anexo 6)¹⁴.

¹⁴ www.inti.gov.ar/chas/

La demostración de cumplimiento de las normas de seguridad (homologación) debe efectuarse ante el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Esta homologación es un requisito obligatorio que deben cumplir todos los proveedores de autopartes, tanto nacionales como importadores para poder colocar sus productos en el mercado Argentino.

Esta homologación establece un sistema de garantía sobre la seguridad y trazabilidad del producto, a través de la certificación otorgada por un organismo reconocido, luego de realizar los ensayos requeridos sobre el producto, de acuerdo a la normativa internacional. Esta certificación es realizada por algún organismo de certificación nacional o internacional reconocido por la UNECE (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa). Con esa certificación es posible obtener la homologación (CHAS) por parte del INTI, que significa una verificación autorizada de que la certificación original ha sido realizada.

2.4 EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DEL SECTOR A NIVEL INTERNACIONAL

De acuerdo a estimaciones internacionales, en los próximos 30 años el número de vehículos en el mundo pasará de 800 a 1.600 millones y será necesario también aumentar aún más la vida útil de los neumáticos. A nivel internacional, principalmente en Europa y Estados Unidos, existe una clara preocupación por el tema del control de la calidad de los productos y también del tratamiento de los desechos sólidos generados por los mismos, la cual se ve reflejada en leyes y normativas, que apuntan a crear sistemas de gestión adecuados.

Se ha estimado que un 80% del volumen de neumáticos desechados a nivel mundial proceden de automóviles o camionetas, un 20% de los vehículos pesados, y alrededor del 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción y vehículos especiales. Las estimaciones de la UE al año 2000 consideraban como índice la generación de **1 NFU/habitante-año**.

En estados Unidos, hacia el año 2000 se desechaban al año alrededor de 275 millones de neumáticos: además, se estima que existen entre 2 a 3 billones de estos desechos acumulados en dicha nación. Aproximadamente, 70 a 75% de estos tenían como destino la incineración en diversos procesos, cerca del 6% eran exportados a otros países (normalmente para ser incinerados allí), otro 6 a 7 % era usado en caucho asfáltico y el resto reciclado en otros productos (ver tabla 2.20). En este país se ha pasado de valorizar el 11 % de los NFUs en 1990, al 90 % en la actualidad y se han incrementado todas las formas de gestión excepto la pirolisis.

Tabla 2.20 Valorización de NFU en Estados Unidos (Datos en %)

Segmento de mercado	1996	1998 (*)
Combustible derivado de neumático:		
Hornos cementeros	22.5	23.3
Papeleras	17.3	15.7
Centrales térmicas convencionales	14.6	14.5
Plantas eléctricas 100 por 100 NFU	7.4	4.0
Calderas industriales	10.1	6.0
Otros mercados energéticos:		
Incineradores de residuos urbanos	3.0	4.0
Hornos de Cal	0.5	1.2
Fundiciones de cobre	0.0	0.4
Fundiciones de hierro siderurgia	0.0	1.6
Total combustible	75.4	70.7
Productos:		
Goma granulada	6.2	7.2

Productos C/S/P (1)	4.0	3.2
Obras civiles	5.0	7.2
Pirolisis	-	-
Agricultura	1.2	1.0
Exportación	7.4	6.0
Usos Varios	0.7	0.6

(*) Estimación (1) Productos C/S/P Cuc Scamped & Punched Rubber Products
Fuente: Scrap Tire Management Council, Abril 1997.

Otro ejemplo es Alemania, que produce 650.000 toneladas de NFU al año, donde cerca del 30% son quemados en hornos de plantas cementeras. En Inglaterra 36% de los neumáticos que no fueron recauchados, son enviados a basurales, 29% son enviados a vertederos de neumáticos (centros de acopio), 8% son exportados (normalmente para ser incinerados), 21% son incinerados sin recobrar energía y un 4% son usados como combustible alternativo en plantas cementeras. El caso Mexicano ha sido también exitoso. Según datos de fines de la década de los 90, 21 plantas cementeras cuentan con autorización para quemar neumáticos en sus hornos de cemento. En Japón se generaron, en 1997, 1.008 millones de toneladas de NFUs, de los que el 51 % se valorizó energéticamente y un 40 % se recicló¹⁸.

La tabla 2.21 muestra la evolución de la generación de NFU en la Unión Europea hasta el año 2000. La tabla 2.22 indica los principales destinos de los NFU en la UE y particularmente en España en el período previo a la dictación de leyes especiales para fomentar la recuperación y reciclaje de NFU, ya que solo en los últimos años se ha comenzado a desarrollar un sistema de gestión de estos residuos¹⁵. La tabla 2.23 muestra estadísticas más recientes de destino en España y la UE.

En España se estimaba al año 2000 una generación sobre 300.000 toneladas al año de neumáticos usados (generados desde alrededor de 30 millones de neumáticos desechados) de los cuales el 11,1% se destinaba a recauchaje; el 1,5% a reciclaje; el 4,6% a valorización energética en cinco plantas cementeras autorizadas y la mayor parte, el 82,8 %, a vertido, abandono o depósito en vertedero, estimándose, además, entre tres y cinco millones de toneladas de neumáticos acumulados y almacenados, como stock histórico.

Tabla 2.21 Evolución de la generación de neumáticos usados en la UE (ton/año)¹⁰

País	1998					2000 *
	1991 (1)	1996 (2)	1997 (3)	(2)	(4)	(2)
Alemania	600.000	650.000	598.000	650.000	628.000	650.000
Austria		40.000	52.000	41.000		41.000
Bélgica	70.600	65.000	66.000	70.000		70.000
Dinamarca	26.200	38.000	35.000	38.500		38.500
España	139.000	115.000	255.000	330.000	241.000	330.000
Finlandia		30.000	33.000	30.000		30.000
Francia	326.000	480.000	380.000	380.000	370.000	380.000
Grecia	27.000	58.000	65.000	58.000		58.000
Holanda	65.000	65.000	100.000	65.000		65.000
Irlanda	19.000	7.640	20.000	7.640		7.640
Italia	320.000	360.000	370.000	360.000	330.000	360.000
Luxemburgo	4.000	2.000	3.000	2.000		2.000

¹⁵ Fuente: Real Decreto sobre Gestión de NFU, 2005

Portugal	30.000	18.925	60.000	45.000		52.000
Reino Unido	292.000	400.000	385.000	380.000	468.000	435.000
Suecia		65.000	58.000	65.000		65.000
Total		2.394.560	2.480.000	2.522.140		2.584.140

* Datos estimados para el año 2000.

Fuentes: (1) DG XI, Unión Europea, (2) ETRA European Tire Recycling Association, (3) DPA Desarrollo Protección Ambiental Sociedad Limitada., (4) BUC Bureau de Lisison des Industries du Caoutchout de TUE

Tabla 2.22 Destinos de los materiales procedentes de la NFU en la UE

Destino	UE 1998		España 1998		España 1999	
	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas
Exportación como neumático de segunda	11	277.490	1,5	3.631	-	-
Recauchado	11	277.490	14,6	35.364	11,1	26.500
Reciclaje	18	454.75	0,4	1.000	1,5	3.500 *
Valorización energética	20	504.529	3,3	8.000	4,6	11.000
Vertido	40	1.009.056	80,2	195.000	82,8	198.000
Total	100	2.522.640	100,00	242.995	100,00	239.000

Tabla 2.23 Estadísticas de Gestión de NFU en España y la UE (2004)

	Unión Europea		España	
	Miles Toneladas	Porcentaje	Miles Toneladas	Porcentaje
Generación	2.796	100	305,71	100
Recauchado	325	12	37,17	12,16
Material Reciclado	852	30	41,5	13,57
Recuperación energética	901	32	52	17,01
Vertido	524	19	155,29	50,79
Exportación	194	7	19,76	6,46

Fuente: CEDEX 2007

Tabla 2.24 Destinos de los materiales reciclados procedentes de NFU en la UE

Destino	1999	
	Cantidad (ton)	Porcentaje sobre el total reciclado
Superficies deportivas y pavimentos de seguridad	181.301	39
Productos de consumo	97.624	21
Construcción	88.320	19
Asfaltos	32.541	7
Vías de tren/tranvía	23.244	5
otros usos	41.839	9
Total	464.875	100

2.4.1 Sistemas de gestión de NFU desarrollados a nivel internacional.

Aun cuando los neumáticos son bienes indispensables en la economía de los países, su uso y disposición pueden causar impactos al ambiente y a la salud, por lo que a nivel mundial se han desarrollado sistemas de gestión basados en los siguientes principios (UNEP, 2008).

- Sistemas basados en la responsabilidad extendida del productor.
- Sistemas basados en pago de impuestos específicos.
- Sistemas basados en la regulación libre del propio mercado.

En el sistema basado en la **responsabilidad del productor**, la ley de cada país define un marco regulatorio y asigna a los productores (fabricantes o importadores) la responsabilidad de establecer las medidas y condiciones de proceso de los NFU. Normalmente ello lleva a la creación de una compañía o asociación donde los productores contribuyen a un fondo común que cubre los costos de recolección y disposición de los neumáticos. Las tendencias actuales privilegian este sistema. La Directiva 75-442 de la Comunidad Económica Europea enfatiza que la implementación de este principio constituye un poderoso instrumento en la gestión de los residuos.

En el sistema basado en pago de **impuestos**, los productores pagan al estado el impuesto específico, siendo este último el responsable de organizar los sistemas de recolección y disposición, el cual es implementado a través de empresas específicas que realizan este servicio y que son remuneradas con los fondos recaudados desde el impuesto

En el sistema de **libre mercado**, la legislación establece metas a alcanzar pero no especifica quien es el responsable del proceso. Por ello, todos los actores involucrados en la cadena de valor son libres de actuar de acuerdo a las condiciones del mercado mientras cumplan con la legislación.

La tabla 2.25 resume algunos ejemplos de países que aplican uno u otro sistema.

Tabla 2.25 Sistemas de gestión de neumáticos adoptados por diversos países

Sistema Responsabilidad del productor	Sistema basado en impuestos	Sistema de libre mercado
Europa (Bélgica, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, España, Suecia, República Checa	Europa (Dinamarca, República Eslovaca, Latvia)	Europa (Austria, Alemania, Irlanda, Suiza, Reino Unido)
Brasil, México, Costa Rica		Estados Unidos
		Australia

Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008

De acuerdo a la jerarquía de gestión de residuos, se da prioridad a las acciones orientadas a su prevención y reducción, lo que ha implicado establecer acciones para incrementar la vida útil de los neumáticos, por lo cual los fabricantes de neumáticos han desarrollado guías de buenas prácticas y procedimientos de mantenimiento. Otra forma aplicada para aumentar la vida útil es a través del proceso de recauchaje

El recauchado es una posibilidad técnica, aunque requiere una cuidadosa separación de los NFUs en función de su estado o grado de uso. Países como Italia o Dinamarca recauchan alrededor de un 22 % del total de los NFU que generan (medido en unidades); otros países, como Holanda, recauchan porcentajes del orden del 2 %. La media podría estar alrededor del 17 %. En España se recauchuta un porcentaje muy alto de los NFU de camión; por término medio un mismo neumático es recauchado unas dos veces, lo que hace que pueda tener unos tres ciclos de vida. Se estima que en España se recauchuta un 14 por 100 aproximadamente del total de NFU. Si se evalúa la situación chilena, donde el recauchaje se realiza básicamente a neumáticos de mayor tamaño, la tasa actual de bordea el 5%.

En la actualidad en la UE se están poniendo en marcha los Reglamentos de Homologación de Recauchado (R 108 para neumáticos de turismos y R 109 para los de camión), que garantizarán la calidad técnica de las instalaciones y de los procesos.

Las posibilidades de reciclaje de los NFU, es decir el aprovechamiento de sus componentes materiales para usos distintos de la valorización energética, han experimentado en los últimos tiempos un importante aumento y la tendencia actual es a revertir en parte el gran porcentaje que se utiliza como combustible. Entre los usos de los materiales reciclados procedentes de los NFU están los siguientes:

- NFUs troceados y granulados: Para pistas deportivas, vías, revestimientos de pavimentos, aditivos para asfaltos, moquetas, calzado, frenos, muros anti-ruido, fabricación de nuevos neumáticos y de otros componentes del automóvil, edificios agrícolas, material deportivo, etc.
- Neumáticos enteros: Para arrecifes artificiales, puertos, obras de estabilización y refuerzo de taludes, muros de contención, etc.

Varias han sido en los últimos tiempos las sugerencias y propuestas que se han hecho para la correcta gestión de los NFU en Europa. Entre ellas hay que destacar las recomendaciones del Grupo de Trabajo de la Unión Europea sobre NFU, presentadas en 1994, la Directiva relativa al vertido de residuos, Directiva del Consejo 99/31/CE, la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil (VFU) y la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos¹⁶. En España se aplican hoy los principios definidos en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de de Uso y el Real Decreto sobre Gestión de NFU, 2005.

Es importante mencionar, además, que algunos países permiten la comercialización y distribución de neumáticos usados, por ejemplo en el Reino Unido este tema se considera dentro de la normativa de "Motor Vehicle Tyres Safety Regulation" de 1994, pero se establecen restricciones respecto de las condiciones de los neumáticos, en cuanto a presencia de defectos, roturas o fallas.

De acuerdo al análisis de ciclo de vida de los neumáticos y las alternativas disponibles de reciclado, reutilización y valorización energética de los NFU, el esquema de gestión integrado, aplicado en Europa se presenta en la siguiente figura, estableciéndose recomendaciones de manejo para cada etapa de la gestión y posterior valorización de los NFU, detalladas en la tabla 2.26.

¹⁶ PLAN NACIONAL NFU ESPAÑA 2001-2006

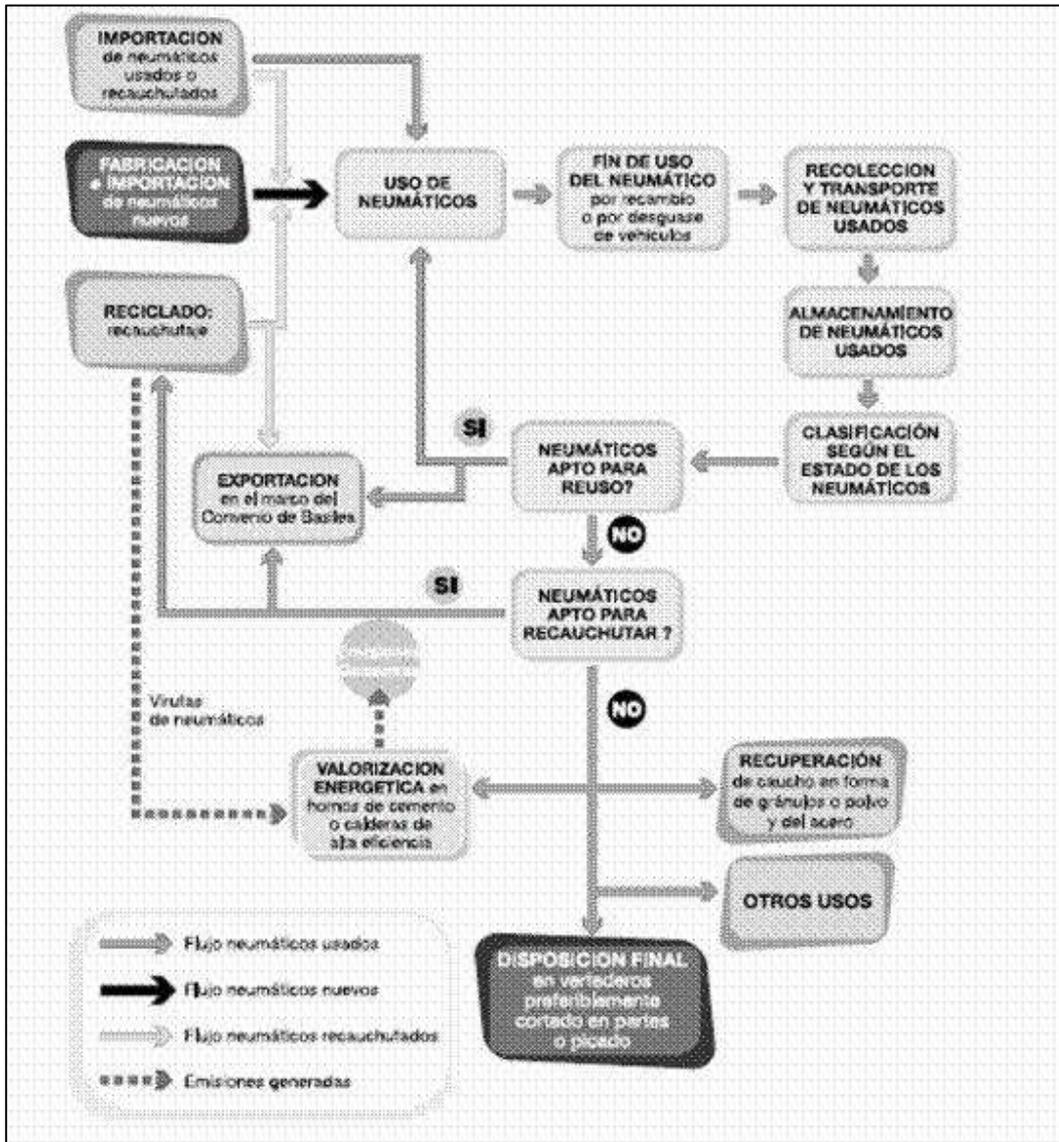


Figura 2.6 Sistema Integral de Gestión para NFU

Tabla 2.26 Prácticas y recomendaciones para la gestión de NFU

Fase del ciclo de vida de los neumáticos	Prácticas y recomendaciones
Fabricación	Se deben hacer esfuerzos en mejorar el diseño y aumentar la vida útil de los neumáticos.
Recolección y Transporte	<p>Para la recolección existen varias alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un sistema libre donde el poseedor del neumático sea el responsable de la eliminación del residuo, debiéndolo entregar a un gestor autorizado haciéndose cargo de los gastos de la eliminación. • El fabricante de neumáticos asume la obligación de la correcta gestión de los residuos que se generan tras el uso, haciéndose cargo de los mismos, entregándolos a gestores autorizados y financiando todo el proceso. • Legislaciones de algunos países obligan al usuario a la devolución del neumático cuando adquieren uno nuevo. • En algunos casos, las municipalidades subsidian el sistema de recolección. <p>Los transportistas deben estar registrados y la carga se debe acondicionar para prevenir vuelcos durante el transporte.</p>
Almacenamiento	<p>Generalmente se establecen límites máximos de tiempo y/o volumen almacenado a partir del cual es obligatorio tener la habilitación de la autoridad competente (por ejemplo en volumen comúnmente se establece el límite de 1000 neumáticos).</p> <p>El almacenamiento tiene que estar directamente vinculado con la actividad de reciclado o valorización energética, para evitar que se convierta en un vertedero.</p> <p>El diseño de un almacenamiento puede ser similar a una playa de estacionamiento y debe contar con dimensiones adecuadas, medidas para control de fuego y control de ingreso de terceros.</p>
Exportación - Importación	<p>Los neumáticos que aún tienen vida útil o estén en condiciones para ser recauchutados, pueden ser exportados a un país que acepte su ingreso. Se recomienda que el país que recibe los neumáticos usados controle este tipo de importación, verificando que el destino sea realmente el uso o el recauchutaje y no que el neumático se convierta en residuo al introducirse en el país importador.</p>
Reciclado	<p>Los neumáticos recauchutados pueden colocarse en el mercado interno o exportarse.</p> <p>En el proceso de reciclado se generan desechos como virutas o limaduras de neumáticos que pueden ser valorizadas energéticamente.</p>
Valorización energética	<p>La utilización de neumáticos usados como combustible alternativo en hornos de cemento, calderas de producción de pulpa de papel y centrales térmicas es ambientalmente segura y no genera emisiones adicionales de dióxido de azufre u óxidos de nitrógeno, siempre y cuando cuenten con apropiados sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas. De todas maneras, se debe realizar el monitoreo de las emisiones gaseosas con y sin sustitución de combustible para verificar el correcto funcionamiento.</p>
Recuperación de materiales para ser utilizados en otros usos	<p>Es la forma más ecológica de valorización. El acero entra en el mercado de recuperación de metales.</p> <p>El caucho se tritura y dependiendo del tamaño de partícula se utiliza como aglomerante betún-caucho o para usos diversos.</p>
Otros usos	<p>También se pueden utilizar enteros en arrecifes, muelles, terraplenes, en muros, como barreras acústicas, como barreras contra choques en las carreteras, para controlar la erosión, como drenajes (troceados), colchones para ganado (gránulos sueltos).</p>
Disposición final	<p>Es la opción menos deseada, de todos modos cuando no existen opciones de reciclado o valorización se deben disponer en rellenos sanitarios. Previo a la disposición es preferible que los neumáticos sean picados o al menos cortados en partes, de forma de disminuir el volumen, no generar problemas de compactación y minimizar el riesgo de transmisión de vectores. El neumático picado puede ser utilizado como material base del relleno.</p> <p>Muchos países desarrollados han establecido fechas límites para la disposición de neumáticos enteros en rellenos sanitarios.</p>

2.4.2 Legislación relacionada a la gestión de NFU.

Los neumáticos usados normalmente no se recolectan junto con los residuos domésticos, Por lo que tradicionalmente, se han clasificado como un "Residuo Especial" o como un "Residuo Voluminoso" a nivel internacional.

En Chile, no existe una clasificación explícita para los NFU, sin embargo, Un neumático fuera de uso está clasificado como RESIDUO NO PELIGROSO (código N° 73 del listado de residuos no peligrosos del SEREMI de SALUD).

En España, la Ley 42/1975 sobre Desechos y Residuos Sólidos Urbanos, define **residuos voluminosos** como, "materiales de desecho de origen domestico que, por su gran tamaño, volumen o peso, son difíciles de ser recolectados y/o transportados por los servicios de recogida convencionales. Tal es el caso de muebles, colchones, electrodomésticos, neumáticos, entre otros. Dado que es frecuente el abandono clandestino de estos objetos, es necesario conocer la naturaleza, composición y cantidad de estos desechos con el fin de poder disponer de los medios adecuados para su recolección, tratamiento y posible recuperación".

En Estados Unidos, algunos de los estados han promulgado leyes que establecen la creación de un pago adicional, por cada neumático nuevo que se adquiera, para formar un fondo para el manejo las acumulaciones de neumáticos usados ya existentes y que asegure que los nuevos neumáticos que se generen sean adecuadamente dispuestos.

2.4.2.1 Legislación de NFU Y Sistemas de Gestión en España.

Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (PNNFU),

El PNNFU propone una mejor gestión posible de estos residuos, teniendo en cuenta el principio de jerarquía establecido en la Ley de Residuos, que obliga a prevenir en la medida de lo posible (alargando la vida del neumático) a reutilizar y a reciclar en su mayor parte estos residuos. Ello significa por tanto dar una clara prioridad a la reutilización y al reciclaje en todas sus variantes y, en los casos en que esto no sea posible, recurrir a la valorización energética. El vertido o depósito final en un vertedero no se considera en ningún caso.

Este Plan respondió a la necesidad de planificar y gestionar específicamente los residuos generados por neumáticos usados excluidos del Plan Nacional de Residuos Urbanos, que representan un Impacto Ambiental a reducir considerablemente si se aplican las posibilidades técnicas que hay para ello. Entre estas posibilidades técnicas que ofrece su reutilización, ya sea troceados o granulados, destacan las que permiten su uso en la construcción de pistas deportivas, vías, revestimientos, aditivos para asfaltos, moquetas, calzado, frenos, muros anti-ruido, fabricación de nuevos neumáticos, material deportivo, etcétera. Los neumáticos enteros se pueden utilizar para arrecifes artificiales, puertos, obras de refuerzo de taludes y muros de contención, entre otros usos. Esto aplica a básicamente a neumáticos de vehículos de carretera, no incluyendo neumáticos de tipo industrial o similar.

Entre los objetivos de este Plan figuran los siguientes:

- Recuperación y valorización del 100% de los neumáticos usados enteros generados antes del 2003 y valorización del 100% de los troceados generados antes del 2007, incluidos los almacenados en los vertederos o depósitos existentes.
- Prohibición de la eliminación (vertido o incineración sin recuperación energética) de los neumáticos enteros a partir del 1 de enero del 2003 y prohibición de la eliminación de los troceados a partir del 1 de enero del 2006.
- Mejorar la calidad de los neumáticos para que la rodadura se mantenga el mayor tiempo posible con las condiciones necesarias para la seguridad vial y, al mismo tiempo,

conseguir la reducción de los residuos, entre 2001 y 2006.

- Reciclado de, al menos, un 20% en peso de los neumáticos usados de vehículos generados antes del 1 de enero del 2007.
- Valorización, diferente al recauchado, del 65 % en peso de los neumáticos procedentes de vehículos de turismo generados antes del 1 de enero del 2005.
- Reciclado del 25% en peso de los neumáticos procedentes de vehículos de turismo antes del 1 de enero del 2007.
- Valorización de, al menos, el 95% de los neumáticos procedentes de camiones antes del 1 de enero del 2003. Antes del 1 de enero del 2007, reciclado de al menos el 25% en peso de los procedentes de camiones.

Asimismo, en las obras públicas en que su utilización sea técnica y económicamente viable, se dará prioridad a los materiales procedentes del reciclaje de estos neumáticos.

Real Decreto sobre Gestión de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

El 30 de diciembre de 2005 fue aprobado el Real Decreto sobre gestión de neumáticos usados, cuyo objeto es prevenir la generación de NFU y establecer el régimen jurídico de su producción y gestión, reducción, reutilización y reciclado, así como otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente. El Real Decreto constituye la culminación de todo un proceso para optimizar la gestión de los NFU, estimulando las medidas de prevención (alargamiento de la vida útil, recauchados), promoviendo su reciclaje e incorporando el **principio de responsabilidad del productor**.

Contenidos:

- Garantizar la recogida y correcta gestión Ambiental en el territorio español de los neumáticos puestos en el mercado nacional, con excepción de los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior sea superior a 1.400 milímetros.
- Atribuir la responsabilidad básica de la correcta gestión de los NFU a los responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos nuevos, ya sean fabricantes, importadores o adquiridos en otro Estado de la UE.
- Fomentar la política preventiva mediante la obligación de los productores de elaborar planes de prevención que identifiquen los mecanismos de fabricación que prolonguen la vida útil de los neumáticos y faciliten la reutilización y el reciclado de los neumáticos al final de su vida útil.
- Los productores de neumáticos deberán garantizar que se alcanzan, como mínimo, los objetivos ecológicos que se establecen en el PNNFU
- También tendrán responsabilidades los generadores de residuos, como los talleres de autos quienes estarán obligados a entregar los NFU (que se generen en la prestación del servicio) al productor de neumáticos, a un centro autorizado o a gestionarlos ellos mismos.
- Diseñar un esquema que permita la participación en las operaciones de recogida y gestión de NFU a todos los agentes económicos que intervienen en el ciclo de vida del neumático, incluidos los recicladores. Con ello se abre la posibilidad de poner en práctica Sistemas Integrados de Gestión, del mismo modo que se viene haciendo con otro tipo de residuos

Objetivos ecológicos:

- Recuperación y valorización del 100% de los NFU troceados, generados antes del 2007, incluidos los ya almacenados en los vertederos o depósitos existentes.
- Prohibición de la eliminación (vertido o incineración sin recuperación energética) de los NFU enteros y de los troceados desde el pasado 1 de enero del 2006.
- Reducción en un 5% en peso de los NFU generado mediante el alargamiento de la vida útil

de los neumáticos.

- Recauchado de al menos un 20% en peso de los NFU de vehículos generados antes del 1 de enero del 2007.
- Reciclado del 25% en peso de los NFU procedentes de vehículos de turismo, antes del 1 de enero del 2007.

El Real Decreto introduce la responsabilidad del productor de neumáticos (fabricante, importador o adquirente) con el residuo del mismo después de su uso, es decir, una vez agotada cualquier posibilidad de prolongar su vida útil mediante su reutilización, bien directamente o tras un proceso de recauchado. Explicita, además, que esta responsabilidad no debe ejercerse de forma aleatoria, sino siguiendo el principio de jerarquía de gestión que prioriza el reciclado frente a la valorización energética y a ambas sobre el vertido¹⁷.

Esta responsabilidad de los productores de neumáticos se limita al número de toneladas que cada año ponen por primera vez en el mercado de reposición, es decir, la primera vez que se produce la venta del neumático, sea de fabricación nacional, importado o adquirido en otro país de la UE. Más concretamente, todo neumático adquirido por un consumidor en España, sea cual sea el canal de distribución por el cual ha sido adquirido: especialistas, talleres de recambio, grandes distribuidoras, internet, etc., debe ser declarado por la empresa que lo vende por primera vez, quedando obligada, además, a gestionar anualmente por su cuenta, en cualquier punto del territorio nacional, una cantidad de NFU equivalente. Queda excluido de esta responsabilidad, por tanto, cualquier distribuidor que revende el neumático comprado previamente a un productor en España.

Los productores pueden cumplir con sus obligaciones a través de un sistema individual de gestión, o bien a través de su adhesión a un Sistema Integrado de Gestión (SIG), cuyas obligaciones quedan definidas en el Real Decreto y que deben ser autorizados por las autoridades competentes de las comunidades autónomas donde se generen los residuos objeto de la responsabilidad del productor.

En línea con esto, además, el vendedor del neumático está obligado a informar al consumidor del precio que tiene la gestión del residuo en que se convertirá el producto objeto de enajenación, de modo que el usuario conozca las repercusiones medioambientales del bien que está adquiriendo. El Plan permite la venta de neumáticos usados que aun poseen características apropiadas pero como exportación a otros países y no dentro del país.

A partir de la legislación indicada se han desarrollado modelos de Gestión Autónomos como es el caso del modelo de gestión nacional **SIGNUS Ecovalor** o el Plan de Gestión de NFU en Aragón, a través del **Plan GIRA (Gestión Integral de los Residuos de Aragón)**, por dar un par de ejemplos.

SIGNUS ECOVALOR

SIGNUS es un sistema integrado de gestión de neumáticos fuera de uso, creado a iniciativa del sector de los productores de neumáticos de reposición el año 2005, con la finalidad de que pueda ser utilizado como mecanismo con el que todos los productores que lo deseen puedan cumplir las obligaciones que les impone el RD 1619/2005¹⁰.

En este sentido, de acuerdo con el artículo 2.k) del citado Real Decreto, los Sistemas Integrados de Gestión de NFU son " *El conjunto de relaciones, procedimientos, mecanismos y actuaciones que, previa autorización por las comunidades autónomas en cuyo ámbito territorial se implanten, y sujeto a supervisión por éstas, ponen en práctica los productores de neumáticos junto a otros agentes económicos interesados, mediante acuerdos voluntarios u otros instrumentos de*

¹⁷ Fuente: SIGNUS Ecovalor

responsabilidad compartida, con la finalidad de garantizar la correcta gestión de los neumáticos fuera de uso”

El esquema de operación de SIGNUS se presenta en la figura 2.7. Dentro de sistema destacan empresas subcontratadas por SIGNUS destinadas a la recogida de NFU desde distintos centros de acopio, centros de recogida y clasificación (CRC) los que pueden destinar parte de los NFU a reutilización recauchaje de acuerdo a su calidad, centros de almacenamiento y preparación de NFU (CAP) y empresas de valorización final.



Figura 2.7 Sistema de Gestión SIGNUS Ecovalor

Desde el punto de vista de la legislación Española , se consideran productores las personas físicas o jurídicas que fabrican, importan o introducen neumáticos por primera vez en el mercado español de reposición. Es decir:

- Los **fabricantes** de neumáticos, que los pongan por primera vez en el mercado de reposición en España.
- Los **importadores** de neumáticos nuevos o usados adquiridos directamente por ellos fuera de España, que los pongan por primera vez en el mercado de reposición en España, sea de manera habitual o puntual e independientemente del volumen importado

Los **distribuidores** forman parte del mercado de reemplazo como mediadores en el proceso de venta de los neumáticos, pudiendo existir varios niveles entre el productor y el consumidor final. Si un **distribuidor** vende neumáticos adquiridos originalmente a un Productor adherido a SIGNUS, deberá incluir en su factura de venta, un importe por unidad y categoría correspondiente al costo de gestión establecido por la entidad gestora de SIGNUS. Estos importes deben estar claramente publicados en los establecimientos a través de carteles distribuidos por SIGNUS,

Se define como **generador de neumáticos usados** a la persona física o jurídica que, como consecuencia de su actividad empresarial, genera en sus instalaciones neumáticos fuera de uso

Tiene la consideración de **gestor** cualquier persona física o jurídica que lleve a cabo operaciones con Neumáticos Fuera de Uso (NFU) y tenga las autorizaciones administrativas correspondientes por parte de las comunidades autónomas en las que opera.

Para llevar a cabo su misión en toda España, SIGNUS subcontrata los servicios de **gestores autorizados**. Todos ellos conforman su Red Operacional y su selección se realiza a través de concurso público, adjudicándose los servicios en función del tipo de gestión a realizar y de los volúmenes de NFU a tratar.

Como resultado de la operación de este sistema, durante el año 2007, hubo un total de 213.542 toneladas gestionadas, frente al valor base del año 2005 donde sólo se gestionaron 150.000 toneladas, yendo el resto a vertedero o a destinos desconocidos e incontrolados.

La cifra de valorización total certificada ascendió a 145.536 toneladas, de las cuales 123.575 (85%) se destinaron a aplicaciones de valorización material y 21.960 (15%) se valorizaron con aprovechamiento energético. Hay que destacar que el 30% de la valorización material se realizó en instalaciones de granulación de Francia y Alemania, ya que las nuevas instalaciones previstas en España no estaban aún disponibles para producir.

Por otra parte, de las 123.575 toneladas destinadas a la valorización de material, 114.426 se convirtieron en grano caucho de distintas granulometrías y calidades para diversas aplicaciones. Concretamente, 77.636 toneladas de NFU fueron certificadas en España y el resto en instalaciones de Francia y de Alemania. Además, 8.897 toneladas se valorizaron en proyectos de obra civil y 256 en diversas aplicaciones¹⁸ como protección en circuitos de velocidad, entre otros.

Actualmente Signus recoge 18.000 toneladas mensuales de neumáticos usados, a través de una red de 34 empresas de recogida atendiendo gratuitamente y en un plazo promedio de 3,5 días las peticiones de más de 23.000 talleres de toda España.

Concretamente, de todo el volumen gestionado se consigue reutilizar el 8 % y el resto se envía a un total de once fábricas de granulado y a cuatro instalaciones de trituración ubicadas en diferentes zonas geográficas. En estas plantas, los NFU reciben el tratamiento adecuado antes de ser finalmente valorizados.

¹⁸ Fuente Memoria Anual 2007 SIGNUS Ecovalor

Financiamiento del sistema¹⁶

Signus Ecovalor, es una entidad sin fines de lucro, la cual será constituida por empresas productoras (fabricantes e Importadores) de neumáticos, que representan el 90% de los neumáticos nuevos comercializados en el mercado de reposición. Estos son: Bridgestone Hispania S.A., Pirelli Neumáticos S.A., Michelin España y Portugal, Goodyear - Dunlop Tires España SA, Continental Tire España, entre otras.

El costo del sistema es financiado a través de una cuota que entregan los productores asociados a Signus Ecovalor, en función de las unidades que ponen en el mercado de cada categoría de neumáticos. Este costo varían anualmente dependiendo del comportamiento del mercado, ya que, el objetivo es mantener un punto de equilibrio; ni ganar ni perder dinero. En caso de que se generen beneficios, éstos podrían permitir una reducción de la cuota o se invierte en proyectos medioambientales de la compañía. Cabe mencionar, que esta tarifa es fijada por el organismo gestor, en este caso Signus. Como se detalla en la siguiente tabla, la tarifa cambia entre un año y otro, y es variable según el tipo de neumático:

Tabla 2.27 Tarifas del Sistema de Gestión SIGNUS

Tarifas SIGNUS		2007	2008
Categoría	Tipo de Neumáticos	€/unidad	€/unidad
A	Moto, scooter y derivados	1,28	1,14
B	Turismo	1,98	1,77
C	4x4, camioneta, Agrícola I e Industrial I	3,94	3,52
D	Camión, Autobús, Agrícola II e Industrial II	12,48	11,12
E	Agrícola III e Industrial III	22,54	20,14
F	Agrícola IV e Industrial IV	40,14	35,88

(1 Euro =1,34 US\$)

La tarifa financia la gestión de Signus, lo que incluye todos los costos, desde la recogida puerta a puerta del neumático usado hasta el reciclado o valorización final, garantizando la recogida en todo momento y en cualquier lugar del territorio español y sin incluir márgenes de beneficio. Este cálculo emana del Real Decreto, lo que permite al productor garantizar, de manera transparente, que los neumáticos fuera de uso se reciclan de la manera más eficaz posible. Signus dispuso de un presupuesto de 56 millones de euros en 2007 para desempeñar su misión

Cada vez que un consumidor de neumáticos, compra uno nuevo, en su factura se detalla el costo que financia la recogida y posterior tratamiento del neumático, sea reciclado, reutilizado o valorizado. Los fabricantes de neumáticos e importadores que no participan en el capital de Signus, de todos modos participan en el sistema, ya que deben certificar que los neumáticos que ponen en el mercado son posteriormente tratados.

GESTION DE NFU DEL PLAN GIRA

En febrero de 2006 se aprueba el "Reglamento de la Producción, Posesión y Gestión de NFU y del Régimen Jurídico del Servicio Público de Valorización y Eliminación de NFU de Aragón", lo que da un giro importante en la gestión de los NFU, y además conlleva propuestas para el desarrollo de nuevos sectores productivos. Los Principios de este modelo de Gestión incluyen:

- Erradicar el vertido de NFU, siguiendo los plazos y condiciones de la Directiva sobre "Vertido de Residuos", basada en el Real Decreto 1481/2001 que establece la prohibición del vertido de neumáticos enteros a partir del 16 de julio de 2003 y de neumáticos troceados a partir del 16 de julio de 2006.
- Aprovechar al máximo los recursos contenidos en los NFU.

- Principio de suficiencia, lo que implica que se debe contar con suficientes recursos para la gestión de los NFU generados en Aragón
- Optimización económica, ambiental y social del sistema.

Lo anterior dio pie al desarrollo de un modelo de gestión basado en los siguientes elementos:



Principio de proximidad: Implica que los residuos deben gestionarse en el lugar más cercano de aquel al que se producen, y junto al **principio de Suficiencia** (que cada región o sector sea capaz de autogestionar los residuos que genera, en este caso los NFU), es uno de los principios que inspiran la política comunitaria sobre residuos.

Incentivar la reducción en origen (Producir menos residuos)

Para lograr un manejo apropiado de residuos uno de los principales aspectos es producir la menor cantidad de estos.

Emplear la tecnología mas limpia: Las operaciones de reducción, reutilización y valorización se harán con la tecnología menos contaminante posible. Es necesario que todo el ciclo de vida de un producto desde su diseño, fabricación, uso y término de vida útil, deba contar con las mejores técnicas y materiales.

Quien genera el residuo debe asumir los costos de su gestión.

Colaboración entre la Administración y los productores y vendedores de neumáticos.

Transparencia en la gestión de los servicios de valorización y eliminación de NFU, de titularidad pública.

Como primer objetivo se planteó el establecer un Centro de Gestión Integral de NFU, instalación diseñada para lograr la valorización material de los NFU. En ella se admiten los neumáticos recogidos por los gestores, se clasifican y se trituran para obtener grano de caucho de diferentes granulometrías, separándose el acero y otros componentes. Los distintos materiales recuperados se almacenan hasta su expedición a las industrias de transformación (ver figura 2.8)

Otros objetivos del plan apuntaban a:

- El control de los datos de producción y gestión de los NFU en Aragón.
- La no valorización térmica de neumáticos en Aragón.
- La incorporación de uso de caucho recuperado de los NFU en Obras Públicas, habilitando su inclusión en pliegos técnicos y en la valoración de las contrataciones.

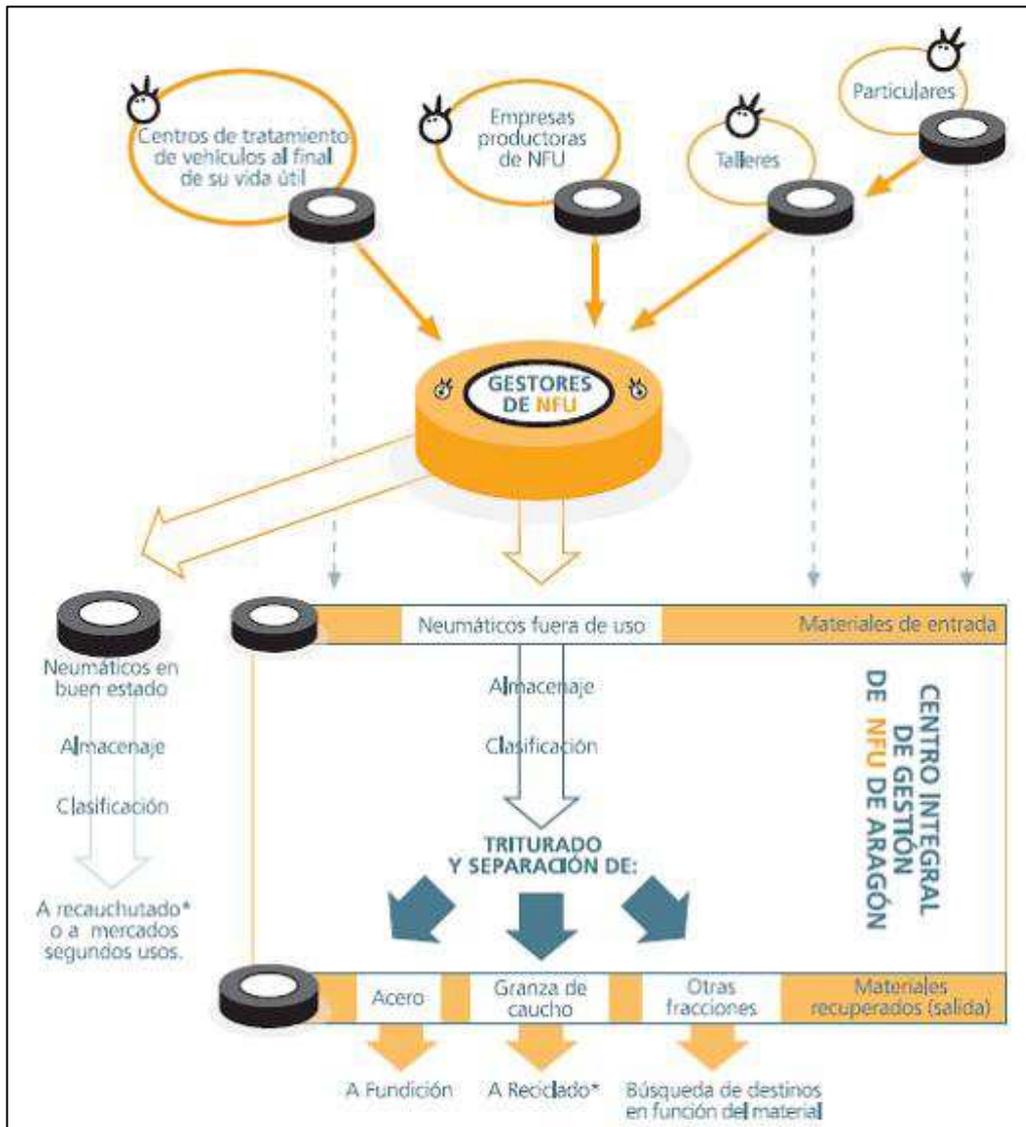


Figura 2.8 Modelo de Gestión Plan Gira

2.4.2.2 Legislación de NFU Y Sistemas de Gestión en la Región.

- **Brasil:**

En Brasil, la Resolución Nº 258 CONAMA, del 26 de agosto de 1999, regula, y fija los plazos para la recogida y destino final de neumáticos usados, de manera Gradual. A partir de enero de 2002, por cada cuatro neumáticos fabricados en el país o importados, los fabricantes debían dar destino, a lo menos, a un neumático usado. En enero de 2003, la proporción era cambiar un neumático usado por cada dos fabricados o importados; en enero de 2004, la paridad era de uno a uno. Finalmente, desde enero de 2005, la norma indica que los fabricantes deben dar destino final a cinco neumáticos usados (incluidas las cuatro llantas fabricadas o importadas, más un NFU adicional, reciclando un 20 por ciento más de lo que vende en el país, con el fin de lograr una efectiva reducción de los neumáticos que se han vertido sin control en años precedentes, cifra superior a 100 millones según especialistas del país. Brasil produce cerca de 40 millones de neumáticos nuevos al año e importa entre 18 y 20 millones más

La resolución también prohíbe la disposición inadecuada para los neumáticos, tales como la eliminación en vertederos, al mar, ríos, lagos, arroyos, o terrenos baldíos y la quema al aire libre. Un importante problema en dicho país es que, a pesar de estar prohibido desde 1991 existe un importante mercado de importación de neumáticos recauchados desde la UE y otros países de la región.

Entre las alternativas de disposición final existentes en brasil, se encuentra el co-procesamiento en hornos de cemento. Este método es supervisado por el CETESB, organismo que se encarga de la supervisión en materias de medio ambiente en el Estado de Sao Paulo.

Otra alternativa de destino de los neumáticos, se encuentra en la planta de procesamiento de bitumen en Petrobras, en la ciudad de Sao Mateus do Sul / PR, la que se aprobó un programa para reutilización de llantas, que se mezcla una proporción de 50 Kg. de neumático triturado con 950 Kg. de asfalto, para uso en pavimentación.

- **Argentina**

Argentina dispone de una adecuada capacidad de procesamiento para recauchar sus propios neumáticos usados, sin necesidad de recurrir a importaciones. Sin embargo, todavía está pendiente la gestión integral para su valorización y minimización de la disposición final.

En este sentido, el Centro INTI-Caucho junto con actores privados del sector del caucho y eventuales consumidores del material reciclado, conformaron un grupo de trabajo permanente que está desarrollando propuestas tecnológicas de recuperación y reutilización.

Se ha sumado, actualmente, a este grupo promotor la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación; la iniciativa comprende la creación de un plan nacional de recuperación de neumáticos, el desarrollo de emprendimientos para el aprovechamiento de este desecho y la promoción de la legislación ambiental adecuada. El plan nacional contempla la confección de un análisis de las distintas regiones del país según los volúmenes de acumulación de unidades usadas, el sistema de recolección y clasificación de las mismas y los actores involucrados.

La generación de neumáticos fuera de uso en Argentina - cálculo basado en los volúmenes de producción destinada al mercado interno y a las importaciones - supera las 100.000 toneladas anuales, de las cuales 38.000 corresponden al área de Buenos Aires.

Teniendo en cuenta los datos existentes sobre los volúmenes de neumáticos de desecho, el grupo de trabajo elaboró una propuesta de gestión integral de este residuo, destinada, en principio, al área metropolitana. En ella, se evalúan las condiciones en esta zona geográfica en

cuanto a la disponibilidad de recursos y se comprueba la necesidad de construir un centro de acopio de neumáticos usados para su posterior transformación y transferencia.

La propuesta de gestión contempla la logística de recolección de los neumáticos en desuso (en forma separada del resto de los residuos) provenientes tanto de usuarios particulares como de empresas de transporte, gomerías, talleres de reconstrucción, entre otros. Luego, los neumáticos usados serán transformados, en una planta industrial, en trozos de goma, con la granulometría adecuada para su utilización posterior.

Este procedimiento permitiría una ocupación más eficiente de los terrenos sanitarios y la aplicación de los triturados, por ejemplo, como combustible alternativo al gas en los hornos cementeros (contribuyendo de esta forma a paliar el déficit de gas), como ingrediente en la mezcla de asfaltos para caminos, como aditivo del piso de canchas de césped sintético o para la fabricación de otros productos a partir del polvo de goma. Se trata de impulsar un modelo tecnológico para después extender la gestión a todo el país.

En cuanto a la legislación ambiental, el grupo de trabajo formuló el proyecto de ley Sistema Integral para el Manejo Ambientalmente Responsable de Neumáticos de Desecho, que será presentando ante el Poder Ejecutivo Nacional. Sus principios rectores intentan además motivar el desarrollo ulterior de un sistema general para el manipuleo de otros residuos.

En resumen, la puesta en práctica de toda esta propuesta de gestión sostenible supone un ordenamiento lógico de las distintas etapas que implican el manejo de cualquier residuo, partiendo desde la generación, acumulación, recolección, transporte y almacenamiento, hasta llegar a su tratamiento para reciclado o reutilización, o para su disposición final. El modelo de gestión surge de una clara articulación de los sectores público y privado con incorporación tecnológica. Su aplicación facilitaría no sólo el manejo responsable de los desechos para eliminarlos del paisaje urbano y rural del país, sino también ayudaría a acelerar su proceso de reciclaje.

Puerto Rico.

En Puerto Rico se desechan aproximadamente 8.100 toneladas de desperdicios sólidos diarios, los cuales se tienen que disponer en los vertederos del país. No obstante, la falta de disposición adecuada de estos desperdicios es uno de los problemas mayores en la Isla y el desecho de neumáticos es parte de este problema.

Debido al gran espacio que ocupan los neumáticos en los vertederos, los cuales reducen así la vida útil de los mismos, su difícil manejo, el peligro de incendio y la propagación de mosquitos a causa de la acumulación de éstos, los municipios están renuentes a recibir en sus vertederos los neumáticos desechados. Esta situación causa la disposición de neumáticos en vertederos clandestinos. El procesamiento y/o reciclaje es una forma adecuada para manejar y disponer de los neumáticos, ya que éstos se pueden reutilizar, entre otros, como: combustible derivado o suplementario, agregado de asfalto, agente abultante para compostaje de lodos de aguas residuales, construcción de arrecifes artificiales, control de erosión, pueden ser triturados para un mejor manejo de éstos en los rellenos sanitarios en ausencia de un mercado de uso final.

Por tal razón, Puerto Rico, establece mediante la *Ley 171, ley de manejo de neumáticos de 31 de agosto de 1996*, un control en el uso, manejo y disposición de neumáticos, prohibir la disposición final de neumáticos enteros en instalaciones de disposición de residuos sólidos autorizadas del país e incentivar el reciclaje, así como el uso de materiales y/o recuperación de energía derivadas de éstos. Además se impone un cargo o impuesto de manejo y disposición sobre cada neumático importado al país. El recaudo del cargo se depositará en un fondo para el manejo adecuado de neumáticos para promover el programa establecido mediante esta Ley.

Costa Rica

En Costa Rica desde el año 2007 se aplica el "Reglamento de Llantas de Desecho", el cual establece que los generadores (importadores y fabricantes de neumáticos) y los vendedores (distribuidoras), serán responsables de entregar las llantas de desecho a los sitios de tratamiento quienes deberán presentar un Plan de Manejo de NFU. La entidad fiscalizadora es el Ministerio de Salud¹⁹. Un punto clave de estas legislaciones es el control de los NFU para prevenir problemas a la salud por la proliferación de mosquitos a través de este residuo.

El Reglamento indica que el tratamiento de las llantas de desecho podrá efectuarse por alguno de los siguientes procesos:

- Generación de energía calórica en hornos de la industria cementera de acuerdo a lo establecido en el Decreto Ejecutivo 31837-S "*Reglamento de Requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros*".
- Producción de pacas de llantas utilizadas en proyectos de obras civiles (pack de llantas altamente comprimidas)
- Agregados para el pavimento asfáltico.
- Producción de polvo de hule.
- Generación de energía eléctrica.
- Cualquier otro proceso específico debidamente aprobado por el Ministerio de Salud.
- También se permitirá el empleo de llantas de desecho en proyectos de rellenos sanitarios con el fin de proteger las geomembranas impermeabilizantes tal y como lo dispone el Reglamento sobre Rellenos Sanitarios, Decreto Ejecutivo 27378-S. Asimismo en proyectos de construcción de arrecifes artificiales en los mares patrimoniales del país.

México.

En México, La Cámara nacional de la industria Hulera, estima que anualmente se generan 25 millones de neumáticos fuera de uso, de los cuales, el 23% son destinadas al distrito federal. La misma cámara estima que el 91% de los neumáticos proceden de autos, camionetas y camiones pesados, el 9% restante corresponden a motos, aviones, equipos de construcción y otros.

Por otra parte, la Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal (DGSU) estima que aproximadamente 3.000 neumáticos son captados por el sistema de limpieza diario, algunas de estas llantas son recuperadas en las Plantas de Selección y son acumuladas a cielo abierto en áreas designadas para este fin, algunas otras son enviadas a empresas autorizadas para ser utilizadas como combustible alternativo.

En materia de normativa, México no posee una legislación específica para neumáticos, sin embargo, existe la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA), donde se consideran diversos criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo. En este sentido se establecen lineamientos para evitar y controlar la contaminación de los suelos, y a pesar de que no se hace referencia directa a los neumáticos, se entiende que estos están incluidos en el concepto de este tipo de residuo.

Actualmente, dentro de la LGEEPA se estudia elaborar planes específicos para algunos tipos de residuos, entre estos se encuentran los neumáticos fuera de uso. La elaboración de estos planes será responsabilidad de entidades federativas y municipios.

Otra disposición importante en la cual trabaja México, corresponde a la iniciativa de definir las responsabilidades de los productores, importadores, comerciantes y consumidores, así como de los prestadores de servicios de manejo de residuos incluyendo la responsabilidad post consumo.

¹⁹ www.fundellantas.org

2.4.2.3 Legislación Nacional.

En Chile no existe hasta la fecha regulación especial que establezca criterios para el manejo adecuado de los neumáticos una vez que son desechados. Para su manejo solo suelen aplicarse reglas generales en relación al manejo de residuos existentes en nuestra legislación. La única norma particular a este respecto, es la Resolución N° 118 del 15 de septiembre del año 1994, del Ministerio de Salud, la cual aprueba el plan nacional para evitar la introducción del mosquito Aedes Albohol tus en nuestro país. En esta resolución, se prohíbe la importación al territorio nacional de neumáticos usados, sin importar cual sea su país de origen.

Se suma a lo anterior, el hecho de que dichos residuos no son aceptados como un residuo más en los rellenos sanitarios por generar problemas de operación del mismo²⁰, lo que incentiva la creación de micro basurales y de vertederos ilegales, generando importantes problemas sanitarios y ambientales.

En Chile no se tiene una clasificación exacta para este residuo y solo se contempla dentro de la Política de Gestión Integral de Residuos, aprobada por el consejo directivo de CONAMA, de Enero de 1998, a los **residuos sólidos** como "sustancias u objetos a cuya eliminación su generador procede, se proponen proceder o está obligado a proceder en virtud de la legislación vigente". También define la **reutilización** como "técnicas de reaprovechamiento de un material o producto, sin cambiar su naturaleza original" y la **valoración de residuos** como "actividad que implica la obtención de un recurso mayor a la simple disposición del residuo. Entre ellas destaca reutilizar, reciclar, tratar con recuperación de energía u otra que genere un producto".

No obstante lo anterior, CONAMA ha indicado la futura dictación de una Ley Marco de Residuos, basada en el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor, REP, la cual se constituiría en la base para la operación de sistemas de gestión de diversos residuos, tales como los neumáticos. Se espera que durante el primer semestre del año 2009 se establezcan los lineamientos de la misma, ya que existen instancias de grupos publico-privados que se encuentran avanzando en el tema REP (para residuos como aceites usados, baterías y también neumáticos).

2.4.3 Generación de indicadores base para la gestión de los NFU en Chile

Entre los indicadores establecidos se tienen los siguientes:

- **Generación per-capita**

Un índice manejado a nivel de los países de la UE, en el periodo previo al inicio de muchas iniciativas de gestión de NFU indicaba una tasa de generación de NFU de **1 NFU/habitante año**. Para el caso de Chile, dicho índice bordearía actualmente **0,18 NFU/habitante año**.

La explicación de este bajo valor radica fundamentalmente en la tasa actual de de vehículos por habitante en Chile, la cual es de 1,58 vehículos por habitante (base año 2006), de acuerdo a estadísticas del INE, cifra más de un 60% por debajo de los valores de referencia (la media en la UE alcanza a 4,11 vehículos por habitante).

²⁰ Los NFU no se aceptan como residuo en rellenos, según el artículo 57 del DS189/2005, Reglamento de condiciones básicas y de seguridad en rellenos sanitarios. pero si una cierta cantidad se utiliza en la estabilización de las celdas de disposición para asegurar la estabilidad de las geomembranas.

- **Cantidad anual de NFU generados /tipo de neumático (base 2007)**

Unidades de NFU

Tipología	Recambio inicial	Recauchaje	NFU
vehículo liviano	1.992.420	0	1.992.420
vehículo transporte público	213.428	42.686	170.742
vehículo de carga	741.956	259.685	482.271
Total	2.947.804	302.370	2.645.434

En forma global, el 10 % de las Unidades son recauchadas y un 90 se considera. NFU.

Toneladas de NFU

Tipología	Recambio inicial	Recauchaje	NFU
vehículo liviano	16.537	0	16.537
vehículo transporte público	9.743	1.949	7.794
vehículo de carga	33.870	11.855	22.016
Total	60.150	13.803	46.347

En forma global, un 23% en peso es recauchado y un 77 % se considera NFU.

- **Tasa de recambio por tipo de neumático: neumáticos /año**

Vehículo liviano: 0,8

Vehículo transporte público: 4

Vehículo de carga: 4

- **Cantidad de NFU recuperados y tasa de recuperación (base año 2007)**

Valorización energética²¹: 4,8 % promedio respecto a toneladas totales de NFU (134.000 unidades o 2.244 ton).

Uso en estabilización laderas celdas rellenos sanitarios: 6,5 % respecto a toneladas totales de recambio inicial (150.000 unidades o 3.000 ton)²².

Uso agrícola, municipal y en infraestructura estimado: máximo 4,3 % (alrededor de 2.000 ton.)

- **Cantidad de NFU vertidos en destino no claramente determinado 84,4% (39.103 ton)**

²¹ En España, antes de ponerse en operación los SIG era del 3%. El valor considera que las cantidades recuperadas por Goodyear son cerca del 90% del total procesado por Lafarge

²² calculado en base al uso en los tres mas grandes rellenos de la RM

2.4.4 DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN ACTUAL DE LOS NFU EN CHILE.

La gestión actual de los NFU, por parte de las mismas empresas o de los distintos generadores, actualmente presenta un grado de desarrollo incipiente, tal como se detalla a continuación.

2.4.4.1 Gestión de empresa fabricante y sus distribuidoras asociadas.

La empresa fabricante y algunas importadoras están comenzando a implantar planes de retiro y transporte desde distribuidoras asociadas en distintas regiones del país, para su posterior envío a valorización energética. Este punto ya es un importante avance pues actualmente un porcentaje importante de los NFU queda en las distribuidoras, sobretodo en las grandes ciudades. Un estudio del año 2001²³, ratificado con datos de empresas de CINC, indicaba que en las distribuidoras quedaban semanalmente entre 20 y 30 neumáticos, cantidad que a la fecha se estima ha aumentado en cerca de un 50%²⁴.

Manejo en empresas distribuidoras:

Como ya se ha mencionado un porcentaje importante de los neumáticos de recambio quedan en las distribuidoras; algunas de ellas han comenzado a gestionar estos residuos, pero todavía existe un número importante que acumula los NFU para luego enviarlos a disposición final o a reventa. Algunos destinos que ha logrado recabar este estudio indican como destino los rellenos sanitarios (Región Metropolitana principalmente), donde se suele recibir una cantidad limitada para uso en mantención estructural, pues sirven como barrera para evitar que las máquinas rompan las geomembranas durante la operación de colocación y compactación de residuos. Otras fuentes indican que los neumáticos se envían a vertederos en regiones o se venden o regalan a interesados que los retiran de las instalaciones. Al respecto, existe información de uso de neumáticos, principalmente de camión para quemas no controladas en predios agrícolas de las regiones VI y VII, con el fin de combatir las heladas en período de invierno²⁵. Los neumáticos son proporcionados por las distribuidoras de manera gratuita aunque en algunos casos son vendidos hasta en 1000 o 2000 pesos la unidad.

2.4.4.2 Organismos del Estado.

Fuerza Aérea:

Aun no tienen solución para sus NFU, los cuales se encuentran acumulados en un número indeterminado en sus instalaciones de El Bosque.

Ejército:

Se han hecho algunos retiros parciales de NFU por parte de Goodyear para co-incineración pero no existe un manejo sistemático. Se están llevando a cabo contactos para actualizar información.

Metro:

Los neumáticos desechados de las líneas del metro, son de características similares a los de los microbuses, de hecho se sabe que existía una práctica ilegal consistente en reutilizar estos neumáticos para las líneas de buses de transporte urbano. Se desechaban alrededor de 700 unidades anualmente al año 2000 y dicha cifra casi se ha duplicado producto de la expansión de las líneas y del mayor uso actual del servicio: Estos se acopian en su mayoría en los talleres de la estación San Pablo, para luego proceder a eliminarlos. La información recabada indica que se están entregando actualmente a uno de los rellenos sanitarios de la TM para uso en protección de las laderas de las celdas de disposición.

²³ Quezada 2001

²⁴ de acuerdo a estimaciones de empresas del sector

²⁵ Quezada, 2001

Municipios

Algunos municipios han desarrollado campañas de recolección parciales, es el caso por ejemplo de la campaña desarrollada entre los años 2004 y 2006 por Goodyear, CONAMA y Lafarge junto a algunas comunas de la RM (ver puntos 2.4.6 y 2.4.7).

Actualmente en la comuna de La Pintana se está llevando a cabo un proyecto de reciclaje de neumáticos enteros de automóviles, para la fabricación de jardineras y casas tipo taller, con lo cual, se indica, ya se han reutilizado más de 10.000 neumáticos. También el proyecto tiene proyectado contar a futuro con equipos de trituración de neumáticos para obtención de material granulado. También la Municipalidad de Viña del Mar ha iniciado una campaña de recolección a fin de destinar los NFU recuperados a coincineración en Lafarge.

En cuanto a la VIII Región, que corresponde a una de las regiones de mayor generación de NFU del país, en las ciudades más importantes (Concepción y Talcahuano), éstos se acumulan en vertederos. No obstante en algunas comunas menores (por ejemplo, Tomé, Arauco y Penco) se ha propiciado su reuso en barreras en las playas, barreras de estacionamiento y plazas de juegos, entre otros; señalándose incluso, que es limitada la cantidad de NFU generada en sus comunas, para todos los usos municipales que se podrían desarrollar.

Servicios Públicos

No se encontraron referencias de manejo de NFU en servicios públicos a la fecha.

2.4.4.3 Empresas particulares.

Transporte colectivo y de carga:

El transporte público es un importante generador de NFU, existe información, por validar, de que los terminales corresponden a lugares donde normalmente se acumulan estos residuos, pero no se tiene claro su destino actual. La misma situación ocurre con el transporte de carga, aunque en los contactos realizados con la Confederación Nacional de dueños de camiones se determinó interés por buscar una solución a esta situación ya que la misma agrupa a más de 30.000 empresas del sector. Según estiman personeros del gremio, un 20% del total de neumáticos desechados provenientes de camiones en la Región Metropolitana podría recolectarse poniéndose en contacto con las empresas de tamaño significativo que tengan taller mecánico propio, donde se encontrarían estos neumáticos.

Sitios de acopio:

Actualmente existe en operación un sitio de acopio de NFU en la comuna de la Pintana, de propiedad de la empresa Energías Naturales, donde se reciben NFU diámetro de hasta 1,2 metros, a un costo de 35 \$/Kg., los cuales se envían a otro terreno de propiedad de la empresa en San Antonio donde se proyecta construir una planta de trituración mecánica (ver tabla 2.28).

Rellenos sanitarios:

Se ha mencionado previamente que los rellenos utilizan una cierta cantidad de neumáticos para estabilizar las celdas de disposición. Se tiene información que estas empresas poseen centros de acopio de neumáticos en sus terminales de camiones. De acuerdo al DS189/2005, "Reglamento de Condiciones Básicas y de Seguridad en Rellenos Sanitarios", está expresamente prohibida su disposición como residuo en dichos lugares.

Vertederos ilegales y microbasurales²⁶:

La presencia de neumáticos es común en vertederos ilegales o microbasurales, junto a residuos domiciliarios, escombros y residuos industriales. De acuerdo al catastro de VIRS al 2007, se indica presencia de NFU en 8 de los 63 vertederos catastrados.

²⁶ se define como vertedero a sitios mayores a 1 hectárea y microbasurales a sitios de superficie menor

2.4.4.4 Proyectos de gestión de NFU.

En la tabla 2.28 se detallan diferentes proyectos relacionados a la gestión de NFU, varios de ellos han sido presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental pero aún no se encuentran en operación, otros han sido rechazados o están aun a nivel de ideas de proyecto.

Tabla 2.28 Proyectos relacionados a la gestión de NFU

EMPRESA	ESTADO	UBICACIÓN PROYECTO	TECNOLOGIA	TIPO DE PRODUCTO A COMERCIALIZAR	CONSUMO DE MATERIA PRIMA
Cemento Melón (Lafarge)	Operando	La Calera	Coincineración	valorización energética	30.000 unidades por semana (capacidad máxima 1.500.000 unidades/año)
Sensei Ambiente S.A	Proyecto (Aprobado por SEIA 2007) Operación estimada desde el 2009 Inversión 4,3 MMUS\$	Chuquicamata	Trituración Húmeda (agua a presión)	Caucho triturado, acero y telas desde OTR	112 Unid. OTR mensual
Energías Naturales Ltda.	Proyecto (Aprobado por SEIA 2007) Operando sólo almacenamiento Inversión 4 MM US\$	Almacenamiento (Santiago) Planta San Antonio	Trituración mecánica	Caucho triturado, acero y tela	620.000 Unid./año 16.600 ton/año. veh. Liviano hasta camiones)
POLA Inversiones	Proyecto en conversaciones Inversión 4 MM US\$	Lampa (RM)	centro de acopio y planta de trituración mecánica y planta moldeado	Caucho triturado, acero y tela. Productos moldeados (pisos, pasto sintético, palmetas)	9000 a 12.000 toneladas/año de NFU (veh. Liviano hasta camiones)
Refimin Servicios Industriales Ltda.	Proyecto (Aprobado por SEIA 2007) inversión 2.5 MM US\$	II Región (Iquique a Copiapó)	Recauchaje, Trituración mecánica	Gestión integral de OTR Caucho triturado, acero y tela	3 ton/hr OTR (aprox. 7200 ton/año)
Inversiones Santa Marta Ltda.	Proyecto (Aprobado por SEIA 2006) Inversión 1,25 MM US\$	II Región	Sólo manejo, acopio y transporte NFU	Gestión de NFU OTR (clasificación, transporte, almacenamiento y despacho de neumáticos usados al exterior)	Proyecto no indica capacidad
Recycling Tech Ltda.	Proyecto (Desistido 2007) Inversión 5,5 MM US\$	Llay -Llay, V Región	Termólisis	Oxido de Zinc, Oxido de Calcio, negro de humo	15.000 Ton/año
South Pacific Recycling Latin America	Proyecto presentado a SEIA (Desistido 2007)	Santiago - Curico	Trituración Mecánica	Productos para utilización en carreteras y caminos.	4600 a 9000 Ton/Año
Valcan Inversiones	Proyecto (Interés)	No definido	Trituración criogénica	Gestión integral NFU	Sin información
Comercializador a y exportadora OTR Tire Chile Ltda.	Proyecto presentado a SEIA (Desistido 2007)	II Región	Sólo manejo, acopio y transporte NFU	Gestión de NFU (clasificación, transporte, almacenamiento y despacho de neumáticos usados al exterior)	Proyecto no indica capacidad

De diez proyectos identificados, actualmente sólo está operativo el proyecto de Lafarge en la V Región; siete proyectos se han presentado a evaluación al SEIA²⁷, un octavo proyecto está en etapa de conversaciones avanzadas con CINC y un último proyecto correspondió sólo a conversaciones preliminares. Tres de los proyectos presentados al SEIA fueron retirados de evaluación por los titulares y cuatro proyectos se encuentran ya aprobados, de los cuales tres corresponden a gestión de NFU mineros, a ubicarse en la zona norte del país (II Región).

A la fecha sólo existen dos proyectos para NFU en la zona central, con distintos grados de avance, uno de ellos sólo para trituración mecánica de NFU y el otro para la obtención de productos de mayor valor agregado (moldeados).

2.4.5 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS E IMPACTOS DE LOS NFU

Los neumáticos usados son residuos que ocupan mucho espacio físico, son difíciles de compactar, recoger y eliminar. No son biodegradables (teniendo en cuenta que el tiempo que tardan en descomponerse es indeterminado). Su composición incluye elementos como plomo, cromo, cadmio y otros metales pesados, por lo que, cuando son dispuestos o manejados inadecuadamente, pueden generar riesgos para la salud y el ambiente.

De acuerdo a ensayos de lixiviación realizados con neumáticos usados granulados, se concluye que los lixiviados no presentan características de peligrosidad, por lo que podrían ser dispuestos en el terreno sin generar problemas de contaminación por lixiviación de productos tóxicos. No obstante lo anterior, existen referencias que indican que varios factores podrían afectar la tasa de lixiviación o concentración de algunos contaminantes hacia el agua superficial y subterránea, entre lo que se cuentan:

- Tamaño: el potencial de lixiviado de un neumático entero es mucho menor que el del material en forma de grano o chips, debido a la mayor área superficial del segundo.
- Cantidad de acero expuesto: al encontrarse expuesto el acero del neumático aumenta la posibilidad de que lixivie hierro o manganeso.
- Condiciones ambientales que propician la lixiviación de metales: las condiciones ácidas (por ejemplo en el suelo) propician una mayor movilidad de los metales, en tanto las condiciones básicas aumentan la movilidad de materiales orgánicos.
- Permeabilidad del suelo: la lixiviación ocurre mucho más rápido si el suelo es permeable.
- Profundidad de las napas subterráneas: a mayor profundidad de las napas existe un menor riesgo de contaminación de las mismas.
- Tiempo de contacto con agua: mientras mayor sea el tiempo en que un neumático reencuentre en contacto con agua, mayor será el riesgo de potencial contaminación.

Al disponerlos como residuos en los rellenos sanitarios ocupan espacio valioso, y debido a su forma hueca, los neumáticos pueden atrapar aire y otros gases, lo que los convierte en boyas, que con el tiempo "flotan" a la superficie, rompiendo la cubierta de las celdas de disposición. Estas aberturas exponen los residuos a roedores, insectos y aves, y permiten el escape de los gases, abren vías para que la lluvia entre en las celdas, favoreciendo la generación de lixiviados. (Lund, 1998).

Para el almacenamiento al aire libre, además del impacto visual, existe un primer problema asociado derivado del riesgo de incendio. Un incendio de neumáticos puede causar impactos adversos al medio ambiente y a la salud de la población, por los compuestos que los conforman. Una vez que se comienzan a quemar los neumáticos, es difícil apagar el incendio, el cual puede durar meses.

²⁷ Fuente: www.seia.cl.

La combustión incontrolada de neumáticos a temperaturas menores a 1090° C tiende a producir cantidades importantes de hidrocarburos (negro de humo espeso) y emisiones nocivas para la atmósfera y la calidad del aire. Se han identificado 38 compuestos emitidos al aire, con un potencial dañino debido principalmente a la exposición de hidrocarburos, metales, gases y vapores inorgánicos (EPA, 1997).

Se ha demostrado que las emisiones al aire, provenientes de la quema de neumáticos a cielo abierto son tóxicas, puesto que incluyen contaminantes tales como partículas, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), dioxinas, furanos, cloruro de hidrogeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs); y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio. Además se pueden generar cantidades significativas de líquidos y sólidos con contenidos químicos dañinos derivados del proceso de fusión de los neumáticos, que pueden ser potenciales contaminantes del suelo, agua superficial y subterránea, por ejemplo la presencia de residuos aceitosos producto de la pirolisis de la goma (EPA 1997). No obstante los productos de descomposición generados por la combustión de un neumático son variados y dependerán, entre otros factores, de el tipo de neumático, la velocidad de la combustión, el tamaño de las pilas de neumáticos, la temperatura ambiental y la humedad (UNEP 2008).

Por otra parte, la forma e impermeabilidad del neumático le permite actuar como un depósito, debido a que capta y acumula el agua proveniente de la lluvia y otros desechos (por ejemplo, hojas en descomposición) durante largos períodos de tiempo. Además, los neumáticos acumulados absorben la luz solar, creando un ambiente propicio, en combinación con agua estancada, para la reproducción de mosquitos. No existen depredadores naturales para los mosquitos que viven en las pilas de neumáticos, lo que conduce a un aumento incontrolado de la población. Estos mosquitos a menudo son transmisores de enfermedades mortales para el hombre tales como la fiebre amarilla, la encefalitis y el dengue (Lund 1998).

Cabe mencionar, la existencia de quemas de neumáticos no controladas en predios agrícolas de las regiones VI y VII, con el fin de combatir las heladas en período de invierno. Los neumáticos son proporcionados a los agricultores por parte de las distribuidoras. Esta práctica trae consigo cuantiosos daños al medioambiente. A esta práctica también se debe sumar la quema en zonas urbanas en periodos de protestas.

Otro problema asociado a las pilas de neumáticos es que se pueden transformar en zonas de reproducción de roedores, dadas las ideales condiciones que crean (presencia de agua, calor, ausencia de luz y protección).

Los neumáticos facilitan la propagación de dos especies de mosquitos, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Estos son los principales vectores del dengue y la fiebre amarilla en regiones tropicales. En las regiones templadas, otras especies como el *Aedes triseriatus* y *Aedes atropalpus* son más predominantes en los neumáticos.

El movimiento transfronterizo de neumáticos usados no sólo ayuda a la dispersión los mosquitos que tienen un alcance limitado, sino que también contribuye a la introducción de especies extranjeras, que son a menudo más difíciles de controlar, aumentando el riesgo de enfermedad. Un ejemplo de ello es la especie *Aedes albopictus* (también conocido como el de Asia "mosquito tigre"). Esta especie fue accidentalmente transportada desde Japón hacia el Hemisferio Occidental a mediados de los años 80 en los traslados de neumáticos usados.

Desde entonces, la especie se estableció en los EE.UU. y en otros países del continente, entre ellos: Brasil, México, Argentina, Guatemala, Cuba y la República Dominicana.

En Chile, a partir del año 1994 se encuentra prohibida la introducción de neumáticos usados, cualquiera sea su país de origen, a través de la Resolución 1.108 del MINSAL (publicada en el Diario Oficial del 15 de Septiembre de 1994) para prevenir el ingreso del mosquito *Aedes*

albopictus.

2.4.6 IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS ACTUALES

Las buenas prácticas presentes en nuestro país por parte de las empresas del rubro se focalizan en acciones de gestión voluntaria, ya que no existe normativa que obligue a los productores de neumáticos a dar una disposición final a los NFU.

A la fecha, algunas empresas del rubro han incorporado opciones de recolección de parte de los NFU generados desde sus distribuidoras asociadas e instalaciones propias (Goodyear desde el año 2004 y Michelin más recientemente). También se han asociado para la recolección desde puntos de acopio de empresas de transporte y mantiene algunas campañas focalizadas con Municipalidades

En Chile, durante los años 2004-2006, mediante una iniciativa conjunta de CONAMA, Goodyear y Lafarge, fueron recolectadas alrededor de 7.800 toneladas (481.000 unidades) de neumáticos. Para ello se realizó una recolección gratuita de los neumáticos que se encontraban en diferentes lugares de diferentes comunas en Santiago. Posteriormente, estos residuos fueron trasladados a La Calera para ser utilizados como combustible alternativo en la Planta Industrial de Cemento Melón. La cantidad recolectada se estimó en un 18% del total anual generado.

A continuación se detallan los volúmenes recolectados por dicha empresa.

Tabla 2.29 Recolección de NFU desarrollada por Goodyear

Año	Unidades	Toneladas
2004	190.000	3.044
2005	160.000	2.546
2006	131.000	2.210
2007	121.000	2.020
2008 (a mayo)	90.000	1.511

Fuente: presentación Goodyear

Goodyear entrega los NFU a Lafarge sin costo de tratamiento, pero el costo de transporte y logística es de cargo de la empresa.

El recauchaje de neumáticos de vehículos de mayor tamaño se puede considerar como otra buena práctica incorporada, pues permite aumentar la vida útil del mismo. Asimismo, y como se ha indicado en el punto 2.4.4, existen algunas iniciativas privadas y públicas actualmente en desarrollo que están fomentando el reciclaje de estos residuos.

2.4.7 DIAGNOSTICO DE ALTERNATIVAS DE ELIMINACIÓN O VALORIZACION ACTUALMENTE EN USO.

2.4.7.1 Uso como combustible alternativo en hornos de cementeras

Actualmente, el principal destino de los NFU recuperados corresponde a su valorización como combustible alternativo en instalaciones de Lafarge (desde el año 2003) donde se alimentan NFU enteros como combustible alternativo en el horno N° 9, de la Planta Industrial ubicada en La Calera. La instalación recibe NFU en buen estado, hasta año 24, en función de la capacidad del alimentador.

También otras industrias cementeras podrían utilizar NFU: En Coactiva - Polpaico se recibe y procesan restos de caucho y similares, pero de tamaño mucho menor (a lo más trozos de 10 x 10 o material más fino) ya que el sistema existente no permite alimentar NFU enteros, y se da prioridad a otro tipo de residuos que copan la capacidad del horno; además, no cuentan con suficientes sistemas de trituración, ya que los existentes se usan para procesar otro tipo de residuos²⁸, de hecho, Coactiva envía actualmente el residuo grueso a Lafarge. Las instalaciones de Cemento Bio Bio actualmente no reciben NFU pues, al igual que Polpaico, sólo podrían recibir material previamente triturado y a un costo que fuese más rentable que el uso del combustible tradicional²⁹.

El proceso de co-incineración de residuos realizado en hornos cementeros presenta las siguientes ventajas desde el punto de vista medio ambiental:

- El horno de cemento no genera residuos líquidos ni sólidos.
- El horno de cemento permite una recuperación térmica completa de los residuos con contenidos energéticos.
- La co-incineración de residuos permite a las plantas de cemento reducir el uso de combustibles fósiles (recursos no renovables).
- El uso de residuos industriales como combustibles alternativos, no modifica en ninguna manera las cantidades ni naturaleza o características del material particulado emitido los procesos de producción de cemento.
- Seguridad operacional permanente gracias a su estabilidad térmica dada por las alta temperatura que se requiere en el proceso de fabricación del clinker (materia prima del cemento).
- Destrucción total de todo elemento orgánico, debido a estas altas temperaturas.
- Neutralización completa de los componentes ácidos liberados durante la combustión y que podrían ser dañinos para el medioambiente, debido al ambiente alcalino aportado por la caliza.
- Incorporación de metales pesados dentro de la estructura cristalina del clinker.

Las cenizas de la combustión, tanto de los combustibles fósiles como también de los combustibles alternativos, son incorporadas al proceso como una nueva materia prima y participa por ende en la formación del clinker. De esta manera, la utilización de las cenizas constituye una de las principales ventajas de los hornos cementeros al evitar que éstas sean tratadas como un nuevo residuo sólido.

El Horno de Lafarge puede recibir neumáticos usados enteros, neumáticos descartados en su fabricación y restos de caucho y goma, tales como cintas de transporte de caucho, sustituyendo hasta un 20% de la energía total requerida en el proceso a partir de la quema de neumáticos. La máxima acumulación de neumáticos con que fue proyectado el proceso es de 5.500 m³, que equivale aproximadamente a 30.000 neumáticos (de auto y/o camión) procesados por semana

²⁸ Fuente COACTIVA.

²⁹ Fuente Cementos Bio Bio

(o cerca de 1,5 millones de unidades anuales) que equivaldrían al reemplazo de un 20% del combustible tradicional. Actualmente se está desarrollando un proyecto de ampliación del sistema para mejorar la inclusión de NFU. El costo de co-incineración actualmente es cercano a \$ 50/Kg.

En la operación se producen emisiones de gases convencionales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, también se emiten normalmente otros compuestos que se generan como resultados de la combustión incompleta o que se forman como productos nuevos a partir de la reacción de la oxidación. El polvo presente en la corriente de gases se captura en un precipitador electrostático (ESP) como también se capturan los gases en la torre de acondicionamiento, los cuales son recirculados al proceso productivo, ingresando como materia prima a la alimentación del horno. Además, las cenizas de los neumáticos y su contenido de fierro quedan incorporados en el Clinker. La producción de cemento se realiza en seco, por lo tanto no existen residuos líquidos asociados.

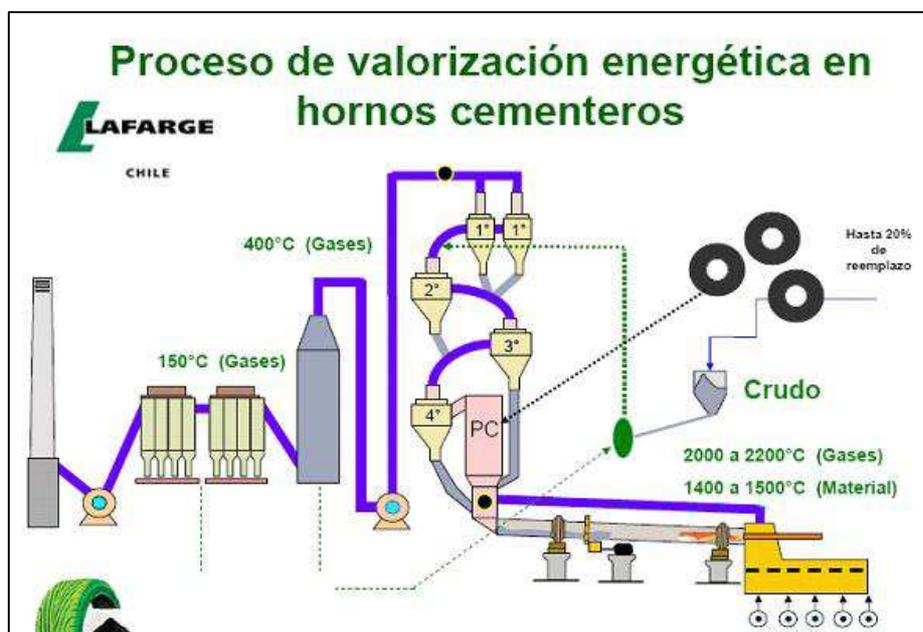


Figura 2.9 valorización de NFU en Lafarge Cemento Melón (Fuente presentación Goodyear)

Los volúmenes de NFU históricos que se han destinado a valorización energética se indicaron en la tabla 2.29.

2.4.7.2 Recauchado.

Tal como se mencionó en el punto 4.1, se ha estimado que actualmente un 35% de los neumáticos de camión, y un 22% de bus se está recauchando, lo cual representa una extensión de la vida útil para cerca del 23% de los neumáticos de reposición, en peso, o cerca de un 10% en unidades.

2.4.7.3 Uso en infraestructura.

Se ha utilizado una pequeña fracción de grano caucho modificado con asfalto a nivel de pruebas en dos tramos realizados por la Dirección de Vialidad utilizando Proceso Húmedo, un tramo en la Ruta X-65 entre Villa Castillo y Puerto Ibáñez, XI Región (año 2004) y un segundo tramo en la Ruta CH 60, Los Andes - Cristo Redentor, V Región (año 2005). Actualmente el Laboratorio de Vialidad está desarrollando, a nivel de Laboratorio, el estudio de mezclas asfálticas con caucho, fabricadas por Vía Seca.

A la fecha el pavimento de Coyhaique se mantiene en perfectas condiciones. El pavimento de la Ruta 60 CH después de un año presentó fisuras producto de la reflexión de las juntas de construcción de las losas de hormigón. No se ha manifestado otro tipo de grietas de reflexión del pavimento antiguo. Se realizó el proceso de sello de juntas³⁰.

Por otra parte, CONAF considera el uso de muros de contención con neumáticos para el control de zonas con erosión. Se indica que este tipo de obras se puede utilizar en el control de cauces menores y en la contención de bases de taludes y laderas con erosión lineal de canalículos o zanjas incipientes. Se utilizan neumáticos usados (aro 13 -15), rellenos con tierra e imbricados, como ladrillos en albañilería y escalonados con peldaños de 5 a 8 cm. En su construcción debe emparejarse el talud y la base, disponer los neumáticos, rellenar con tierra y compactar. La primera corrida o línea de base, se debe alambrear a un poste horizontal que se entierra y las 2 o 3 primeras corridas de neumáticos deben fijarse por estacas de 60 a 70 cm. El largo de esta obra es variable, pero la altura no debe sobrepasar los 1,5 metros y la pendiente del talud corresponde a 1: z, donde $z = 0,4$ a $0,8$. Para reforzar biológicamente la obra se debe sembrar semillas de especies herbáceas en la superficie rellena de los neumáticos³¹.

2.4.7.4 Uso en zonas agrícolas.

En las zonas agrícolas los NFU son utilizados en la contención de silos para almacenamiento de pasto y alimento animal. Como se ha mencionado previamente, adicionalmente se les usa en muros de contención de diverso tipo y también para quema. Otro uso detectado también en zonas rurales y pequeños pueblos, y que además extiende su vida útil, es como neumático para carretas.

2.4.7.5 Uno en infraestructura de rellenos sanitarios.

La disposición como residuo actualmente no está autorizada pero se están utilizando como barrera protectora de geomembranas.

Sobre la lámina de geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de los rellenos siempre se coloca un geotextil grueso, para proteger la impermeabilización de los elementos punzantes presentes en los residuos. Además, en el fondo del relleno, se coloca sobre la impermeabilización una capa de grava de 30 cm. para drenar el lixiviado, la cual sirve también de protección adicional de las capas de la impermeabilización.

En las laderas, no es factible colocar grava, por lo cual se colocan neumáticos en forma ordenada. Los intersticios entre los neumáticos además permiten el libre flujo de los lixiviados en las laderas. Actúan también como protección adicional de la impermeabilización. Solamente se utilizan neumáticos de vehículos menores o camiones, ya que se colocan manualmente.

En general se reciben neumáticos en función de las fases de adecuación de las futuras celdas de disposición del relleno.

³⁰ Ramírez 2006

³¹ www.conaf.cl

De acuerdo a información entregada desde uno de los rellenos sanitarios en operación en la RM, si se asume que los neumáticos usados tienen en promedio un diámetro de 80 cm., entonces es posible colocar 1,25 neumáticos por m² en forma ordenada. Para aproximadamente 420.000 m² de laderas por impermeabilizar hacia el final del proyecto (>2025), existe capacidad para recibir aproximadamente un total de 525.000 neumáticos de autos en 17 años (aproximadamente 31.000 NFU/año)³². Otro de los rellenos indica el uso de alrededor de 30.000 neumáticos al año para protección de taludes³³. Considerando la capacidad y volumen de recepción de los tres principales rellenos sanitarios de la RM, estos podrían recibir anualmente cerca de 150.000 NFU³⁴.

2.4.7.6. Disposición en vertederos ilegales de residuos sólidos, VIRS y microbasurales

Corresponde a una disposición muy frecuente. Se tiene referencia de presencia de neumáticos en de vertederos ilegales y microbasurales en varias zonas del país. No obstante se debe precisar que los volúmenes de NFU en los mismos serían muy variables, pues normalmente se encuentran junto a otros residuos de tipo doméstico, industrial y escombros de construcción. Solo por dar un ejemplo, en la RM se encuentran identificados actualmente alrededor de 60 VIRS, y en más de un 13 % de ellos se indica la presencia de NFU.

2.4.7.7 Otros destinos.

Existe un bajo porcentaje de uso de NFU que se destina al a fabricación de calzado u artículos como parte de monturas y similares.

Adicionalmente existe un uso poco tradicional que corresponde a la quema de NFU en algunas zonas urbanas cuando se desarrollan actividades de manifestaciones o protestas públicas.

Al respecto, los estudios realizados en el aire alrededor de la quema de neumáticos durante las manifestaciones públicas demuestran que se expone tanto a los manifestantes como a un gran número de residentes cercanos a las mismas a la inhalación de niveles muy peligrosos y elevados de sustancias irritantes, alergénicas y cancerígenas las cuales terminan dispersándose en la zona y depositándose sobre superficies domésticas provocando ensuciamiento y contaminación. La observación visual produce la apariencia que solo se contamina el aire inmediato a la quema, sin embargo pueden encontrarse elementos anormales en el aire hasta unos 150 metros de distancia³⁵.

³² fuente empresa PROACTIVA.

³³ Fuente Relleno Santa Marta

³⁴ % Capacidad de recepción: Santiago Poniente 16%, Santa Marta 24%, KDM 60%.

³⁵ Luján 2005

2.5 DIAGNOSTICO Y EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE ELIMINACIÓN DE NFU A NIVEL MUNDIAL

La utilización que se hace de los neumáticos usados puede dividirse en dos categorías generales: enteros o procesados. Se excluye el vertido de neumáticos enteros en rellenos sanitarios, ya que esta alternativa esta desapareciendo en todos los países. (Lund, H.1998).

GESTIÓN (en orden de prioridad)		Técnica o Proceso	Ejemplos
PREVENCIÓN	PREVENCIÓN, MINIMIZACIÓN	* Fabricación de neumáticos mas duraderos * Empleo de materiales reciclados * Diseño de neumáticos fácilmente reciclables	
VALORIZACIÓN	VALORIZACIÓN MATERIAL	Aplicaciones directas (segundo uso)	* Protección: circuitos carrera, en postes de seguridad, en barcos, etc. * Construcción de muros de contención * Barreras en muelles costeros * Barreras acústicas * Drenaje lixiviados
		Recauchado y reesculturado	* Alarga la vida del neumático
		Regeneración	* Fabricación nuevos neumáticos
	RECICLAJE	Triturado y separación (obtención polvo de caucho)	* Pavimentos carretera * Pistas deportivas * Alfombrillas
		INCINERACIÓN, QUEMA, COMBUSTIÓN, PIROLISIS,...	Los neumáticos son una compleja mezcla de hidrocarburos, metales, azufre, plastificantes y aditivos,...se emplean o han empleado en su fabricación hasta 200 componentes diferentes. Las emisiones producidas en la combustión o incineración de neumáticos son, entre otras, las siguientes sustancias: Monóxido de carbono, Dióxido de carbono, Dióxido de azufre, Óxidos de nitrógeno, Óxidos de zinc, Xilenos, Benceno, Fenoles, Hidrocarburos aromáticos policíclicos, Óxidos de plomo, Hollín, Pireno, Tolueno, Naftaleno, Furanos, Benzopireno.
ELIMINACIÓN	DEPOSITO EN VERTEDERO CONTROLADO	Triturado y/o deposito en veredero controlado	Los vertederos no admiten NFU en Chile.

Figura 2.10 Alternativas de reciclaje de NFU Fuente: modificado de Plan GIRA 2006.

2.5.1 Alternativas de reuso

2.5.1.1 Recauchaje

Consiste en sustituir la banda de rodamiento desgastada por una nueva, lo que permite que se prolongue la duración del resto de la cubierta por un cierto período de tiempo y con prácticamente las mismas prestaciones (seguridad, rendimiento kilométrico y adherencia).

Entre las ventajas del recauchado se pueden citar:

- Favorece al medio ambiente, debido a que se controla la eliminación de los neumáticos.
- El bajo consumo de combustible que se precisa para la producción de un neumático renovado, 5,5 litros en contraste con los 35 litros necesarios para la fabricación nueva (Lund, 1998).

En rigor, el término Recauchaje se refiere a tres procesos que pueden incluir solo el reemplazo de en la zona de la banda de rodamiento, la colocación de una cubierta de recauchado que cubre parte de las paredes laterales o, en último término, una cubierta nueva que incluye las paredes laterales

A nivel internacional, la producción de neumáticos recauchados está sometida a reglamentos internacionales de homologación de los mismos (R-108 para neumáticos de turismo y R-109 para neumáticos de camión y buses, en el caso de la UE). Estos restringen el número de veces que un neumático puede ser recauchado: para neumáticos de automóviles se establece la posibilidad de recauchar sólo una vez, y para el caso de neumáticos para vehículos mayores se permite un número limitado de recauchajes. Por otra parte, la vida útil del neumático no debe exceder los siete años. El recauchaje actualmente se utiliza en Chile solo para neumáticos de buses, camiones y maquinaria. Los neumáticos de vehículos livianos de pasajeros no se pueden recauchar ya que su estructura no ha sido diseñada para ello.

Las regulaciones internacionales indican que recauchaje sólo puede ser realizado por empresas calificadas y estos neumáticos deben ser certificados para garantizar los estándares de calidad y la seguridad de los consumidores

El recauchado considera las siguientes etapas:

Inspección Inicial

La inspección inicial consiste en examinar con mucho detalle el estado en que se encuentra el neumático, determinando así, si esta en condiciones de ser reparado o recauchado

Raspado

Esta labor consiste en preparar la superficie que recibirá la nueva banda, para eso se raspa la superficie del neumático hasta sacar todo el dibujo. La tecnología actual permite conseguir los adecuados ángulos y radios de raspado para que la carcasa tenga el mejor contorno y textura para la adhesión de los componentes.

Preparado

Una vez raspado, el neumático es nuevamente revisado y tratado para sacar todas las imperfecciones que queden en la superficie raspada. Además se eliminan daños por piedras, alambres y otros cortes productos del uso diario.

Cementado

En esta etapa, se aplica una pequeña película de cemento de caucho para sellar el neumático.

Con esto se evita el óxido y se da una adhesión momentánea hasta aplicar la banda de recauchaje.

Reparación

Después de cementado, el neumático se repara de acuerdo a las dimensiones del daño, características de uso y suelo al que está destinado.

Embandado

Este es el momento en que se pega la banda sobre el neumático. Esta unión se hace con una película de caucho adhesivo, que tiene características especiales para producir una unión inseparable entre la nueva banda y el neumático.

Vulcanización

Luego del proceso de embandado, el neumático es vulcanizado dentro de un autoclave. En este equipo las líneas de tiempo, temperatura, presión y ventilación crean el ambiente adecuado para que la banda se convierta en una parte más del neumático.

Inspección Final

Este paso es indispensable para certificar la calidad del proceso y garantizar que las especificaciones técnicas han sido cumplidas. Con este examen externo e interno del neumático se asegura su buen funcionamiento y resistencia.

Mediante el proceso del recauchado, además de retrasar la aparición de la carcasa desgastada, se contribuye a ahorrar un volumen importante de materias primas, ya que únicamente se añade de un 20 a 25% de materiales nuevos.

Un inconveniente con el que se topa esta solución se encuentra en un eventual menor control de calidad del neumático recauchado en algunas instalaciones, lo que hace dudar al consumidor sobre el nivel de seguridad en uso.

2.5.1.2 Redibujado o Resculturado

La alternativa del redibujado de neumáticos aplica solo a aquellos que poseen las características técnicas para tal efecto, es decir, que en su fabricación se ha considerado la inclusión de bandas de goma interna adicionales que permitan recuperar los surcos sin afectar la seguridad del uso del neumático.

El redibujado es una técnica para alargar la vida del neumático. Es un reciclaje temporal. Se aplica normalmente para neumáticos de gran tamaño, maquinaria de obras públicas, transportes especiales, etc. Puede llegar a aumentar la vida útil en un 30%, incrementando de forma mínima el costo del neumático.

La normativa referente a la profundidad del dibujo en neumáticos es variada según el uso y tipo de usos: tonelaje, para uso seco, húmedo, etc., pero en cualquier caso, es más exigente, principalmente por motivos de seguridad vial, para turismos y vehículos ligeros, en los países desarrollados³⁶.

Chile es uno de los pocos países donde para todo tipo de vehículo está expresamente prohibido el uso de neumáticos redibujados³⁷ (entendiéndose por redibujado el proceso mediante el cual se profundizan los surcos en la banda de rodamiento).

³⁶ Fuente: www.ambientum.com

³⁷ Artículo 34 DS 212/1992 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Reglamento de los Servicios Nacionales de Transporte Público de Pasajeros

2.5.2 Alternativas de reciclaje sin modificación física del NFU.

El reciclaje de NFU enteros es limitado debido a su tamaño, propiedades y a los costos implicados en el transporte de un material voluminoso (Lund, H.1998). Sin embargo existen algunas alternativas como las siguientes:

a) Uso agrícola:

La utilización de neumáticos en el área agrícola va desde servir para anclar las lonas colocadas sobre los alimentos para animales (conformación de silos), quema de los mismos para "levantar heladas", hasta formar bordes en las carreteras. El número de neumáticos utilizados es limitado. La mayor diferencia, sin embargo, radica en que la agricultura normalmente hace uso de neumáticos livianos y también los procedentes del equipo agrícola, que son mas grandes y pesados y mas difíciles de procesar que los neumáticos de vehículos livianos. Por lo tanto, esta utilización especializada juega un papel importante dentro de la evacuación global y reciclaje de neumáticos usados. (Lund, H.1998).

El grano de caucho, puede ser utilizado en suelos agrícolas como un reparador. La compañía International Soil Systems de colorado, desarrolló un proceso patentado de reacondicionamiento de suelos, que incorpora una cantidad específica de caucho en el sitio.

Se señala que esta técnica disminuye la compactación e incrementa la porosidad, lo que se traduce en una mayor absorción del agua y un mejoramiento en la difusión del oxígeno en las raíces del pasto.

b) Aplicación como elemento en infraestructura u obras de ingeniería³⁸

Arrecifes y Rompeolas artificiales:

Los arrecifes artificiales se construyen uniendo neumáticos usados, hundiéndolos y anclándolos en las aguas costeras. Bajo ciertas condiciones climatológicas, los neumáticos rápidamente albergan criaturas marinas, creando un arrecife artificial atractivo como hábitat para diversas especies acuáticas. En la actualidad existe un proyecto de arrecifes de neumáticos en Isla de Pascua promovido por el municipio local, como solución a los NFU generados en la Isla. Esta busca crear hábitáculos que permitan la recuperación de la fauna marina.

Los rompeolas pueden construirse para ser colocados a corta distancia de la costa. Su colocación ayuda a proteger los puertos y el litoral de los efectos de las mareas, dando estabilidad a la zona de playas y al fondo marino.

Las investigaciones han demostrado que cuando se instalan correctamente, los neumáticos pueden emplearse con éxito como rompeolas flotantes para proteger las bahías y los puertos. Estas estructuras son fáciles de instalar y de adaptar como barreras rompeolas. El uso de los neumáticos usados para esta finalidad depende del costo respecto a otros dispositivos de rompeolas. Otros usos posibles serían: colchonetas estabilizadoras para dunas y terrenos pantanosos, estructuras para evitar la erosión en las orillas de los ríos y riachuelos y arrecifes artificiales flotantes. (Lund, H.1998).

Sin embargo, este uso puede presentar algunos problemas. Aun no está claramente definido si podría existir lixiviación de sustancias tóxicas desde los neumáticos hacia el ambiente marino; por otra parte los neumáticos son inestables en agua, por lo cual deben anclarse para inmovilizarlos. Por lo anterior, y por el hecho de ser un material voluminoso se requiere equipamiento especial para su ensamblaje, lo cual hace más caro el proceso.

³⁸ En algunas de estas aplicaciones también se utilizan NFU procesados (trozos, chips, entre otros).

Barreras parachoques en caminos:

Las pilas de neumáticos colocados horizontalmente (y frecuentemente dentro de algún tipo de contenedor flexible) han tenido éxito como barreras parachoques en ciertos puntos de las carreteras, como por ejemplo en puentes, estribos y otros obstáculos. Esta alternativa ofrece solo un potencial limitado a la hora de consumir cantidades importantes de neumáticos usados (Lund, H.1998).

Barreras parachoques en puertos:

Actualmente es posible encontrar uso de neumáticos enteros en atracaderos de botes y sitios de descarga, en donde son utilizados como barreras de contención y amortiguadores respectivamente.

Con el fin de minimizar el volumen que ocupan los neumáticos y hacer bloques compactos, es posible encontrar en el mercado sistemas compresores de neumáticos. Estos equipos permiten compactar hasta 100 neumáticos en bloques macizos, de cerca de una tonelada de peso (ver punto c). Son capaces de procesar hasta cuatro bloques por hora y permiten reducir el volumen de los neumáticos hasta en un 80%. Además reduce el riesgo de incendio, elimina la acumulación de agua al interior de los neumáticos y evita eventuales problemas medioambientales asociados al almacenamiento.

Muros de contención, taludes para estabilización de laderas y control de erosión:

En esta aplicación los neumáticos enteros se atan para formar un muro de contención geotextil en las zonas inclinadas, o muy expuestas, a lo largo de la carretera. Los neumáticos usados tienen diversas ventajas en esta aplicación. Normalmente son más económicos que el material convencional que sustituyen, son abundantes y pueden obtenerse rápidamente, solucionando al mismo tiempo el costoso problema de su evacuación (IDRC, 2006).

Un equipo de investigadores Canadienses y Brasileños ha descubierto, que los muros de neumáticos son construidos por menos de un tercio del costo de los muros de concreto anclados, que se utilizan en el resto de la ciudad, y por tanto son más eficaces a la hora de detener los deslizamientos de tierra durante las estaciones de lluvias. Río de Janeiro gasta actualmente unos US\$ 50 millones por año en muros de contención de concreto para detener los deslizamientos, pero desafortunadamente no todas esos muros dan los resultados esperados. Es por esta causa que en Brasil, se han realizado estudios sobre el comportamiento de los neumáticos usados como muro de contención y los resultados han sido beneficiosos que actualmente se están utilizando en el país (IDRC, 2006).

También se puede utilizar en el control de cauces menores y en la contención de bases de taludes y en laderas con erosión. CONAF ha definido el uso de neumáticos (aro 13 -15), rellenos con tierra e imbricados, como ladrillos en albañilería y escalonados con peldaños de 5 a 8 cm. En su construcción debe emparejarse el talud y la base, disponer los neumáticos, rellenar con tierra y compactar. La primera corrida o línea de base, se debe alambra a un poste horizontal que se entierra y las 2 o 3 primeras corridas de neumáticos deben fijarse por estacas de 60 a 70 cm. El largo de esta obra es variable, pero la altura no debe sobrepasar los 1,5 metros y la pendiente del talud corresponde a 1: z, donde $z = 0,4$ a $0,8$. Para reforzar biológicamente la obra se deberá sembrar semillas de especies herbáceas en la superficie rellena de los neumáticos (CONAF, 2005).



Figura 2.11 Muro de contención con neumáticos usados
(Fuente: http://www.idrc.ca/es/ev-5145-201-1-DO_TOPIC.html)

Aplicaciones en obras de ingeniería de rellenos sanitarios:

Dentro de esta alternativa, se ha indicado previamente el uso de neumáticos enteros dentro de rellenos sanitarios, para protección del material impermeabilizante en laderas. Adicionalmente se les ha utilizado en la infraestructura de recolección de lixiviados, sistemas de drenaje en la cobertura del sitio, y como parte del material de relleno de los sistemas de drenaje de gas. Adicionalmente se han usado en la cobertura diaria de residuos, construcción de caminos internos provisionarios o barreras de protección en los mismos.

Los neumáticos se han ocupado enteros, cortados (trozos mayores a 300 mm.), trozados (50 a 300 mm) o en la forma de chips (10 a 50 mm.); la forma de uso ha dependido de la disponibilidad, costo de procesamiento del neumático (trituración) y costo de transporte, así como también de los requerimientos del sitio, características del proyecto sanitario y regulaciones del país.

Aplicaciones como material de relleno liviano:

Los neumáticos se han utilizado como material de relleno liviano en una amplia variedad de proyectos de ingeniería, como reemplazo parcial de agregados de áridos, grava y agregado de relleno en gaviones, en la forma de neumático entero, trozado o chips. Algunos ejemplos son estructuras de reforzamiento en puentes, reparación y estabilización de laderas.

Barreras acústicas

Las barreras de ruido fabricadas con neumáticos, han sido utilizadas para reducir el nivel sonoro

en autopistas. Se construyen con neumáticos enteros, trozados o bien con placas especiales fabricadas con caucho granulado.

c) productos alternativos en obras de ingeniería

Como alternativa al uso en obras civiles del neumático entero se encuentra el llamado LLANTION³⁹, producto utilizado actualmente en Costa Rica, el cual corresponde a un pack de 100 neumáticos de desecho altamente comprimidas (dimensiones 135 x 150 x 75 cm.), con un peso promedio un poco mayor a 900 kilos). Este producto, además de representar la solución ambientalmente amigable a la disposición de llantas de desecho, ofrece muchos beneficios en proyectos de ingeniería. Entre sus atributos físicos están su baja densidad, su fortaleza y durabilidad. Se le utiliza ampliamente para control de erosión e taludes, laderas, control de inundaciones, muros de contención.



Figura 2.12 detalle del producto LLANTION (fuente: www.fundellantas.org)

d) Viviendas fabricadas con muros de neumáticos usados.

El concepto de este tipo de vivienda combina reciclaje y la utilización de energías renovables, lo que pretende, al tiempo que ser competitivo con los costes de los materiales de construcción, conferir a la vivienda el carácter de autónoma respecto a las redes (electricidad, agua, residuos), y permitir una integración poco contaminante en el medio.

El "Earthship" (en ing. "barco terrestre", "nave de tierra") es un modelo arquitectónico de vivienda autónoma desarrollado desde hace más de treinta años a partir de los trabajos originales del arquitecto estadounidense Michael Reynolds. La abundante información disponible, indica que, en ese tiempo, la extensión y el perfeccionamiento del concepto presenta distintas caras: desde la creación de distintas comunidades de *earthships* y de varias empresas dedicadas a la construcción y difusión del concepto (venta de equipos, seminarios, instalaciones, mano de obra, etc.), hasta su aplicación en zonas de pocos recursos, o asoladas por catástrofes naturales (Honduras, tras el huracán *Mitch*), o su marcada difusión a manos de particulares en Bolivia, Australia, Japón, Canadá, México y, principalmente, los Estados Unidos.

El concepto original de *Earthship* se basa principalmente en cuatro elementos:

- La orientación de la casa hacia el norte, en un diseño que permite una captación óptima de la luz y el calor solar. Esta energía pasiva se consigue con la construcción de tres muros en las caras Sur, Este y Oeste, y una cara Norte totalmente abierta al exterior mediante cristales.
- Utilización de neumáticos usados rellenos de tierra compactada para la construcción de los muros maestros de la casa. Estos pesados, casi indestructibles muros ayudan además a crear una masa térmica que permite mantener dentro de la casa una temperatura media constante de entre 15 y 20 grados centígrados.

³⁹ www.fundellantas.org

- Utilización de energías poco contaminantes solar, eólica- para el consumo doméstico. Éstas, con ser además rentables a medio-largo plazo, hacen posible la construcción de las viviendas en cualquier lugar por su independencia de las redes de abastecimiento habituales.
- Instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua, así como de tratamiento de aguas residuales que, al permitir su reutilización gracias a un sistema de filtros y drenajes, minimiza y mejora el consumo.

Los principales componentes estructurales de la vivienda son neumáticos usados rellenos con tierra compactada que conforman apretados ladrillos de tierra encerrados en un sólido cinturón de goma. Estos ladrillos, y los muros maestros que forman, son virtualmente indestructibles. Los neumáticos tienen una baja energía incorporada, y están listos para ser reutilizados en la construcción sin alteración alguna.

Las ventajas que ofrece este tipo de construcción son varias. Tras treinta años de vida, la solidez de las viviendas parece garantizada: hecha con unos ladrillos de entre 100 y 150 kg de peso cada uno (con relleno incluidos), colocados de manera escalonada y compactados con mezcla, de manera que forman muros suficientemente gruesos y resistentes como para constituirse en sus propios cimientos. Diferentes clases de palas, mazas y martillos para la óptima compactación, serán artefactos imprescindibles para la construcción de la vivienda.

Está comprobado que la temperatura de la tierra, aún a pocos metros de profundidad, permanece sobre medias constantes menos extremas que las del exterior, la excavación de la estructura en el suelo es clave para conseguir la creación de una masa térmica en el interior de la vivienda, gracias a la acción de los muros que actúan como reguladores de las temperatura, acumulando en su interior el calor de las horas de sol, que irán desprendiendo lenta y paulatinamente en las horas nocturnas. La terminación de los bordes de los muros se consigue con una compactación con bloques de cemento u hormigón que rematan la estructura de los muros maestros.

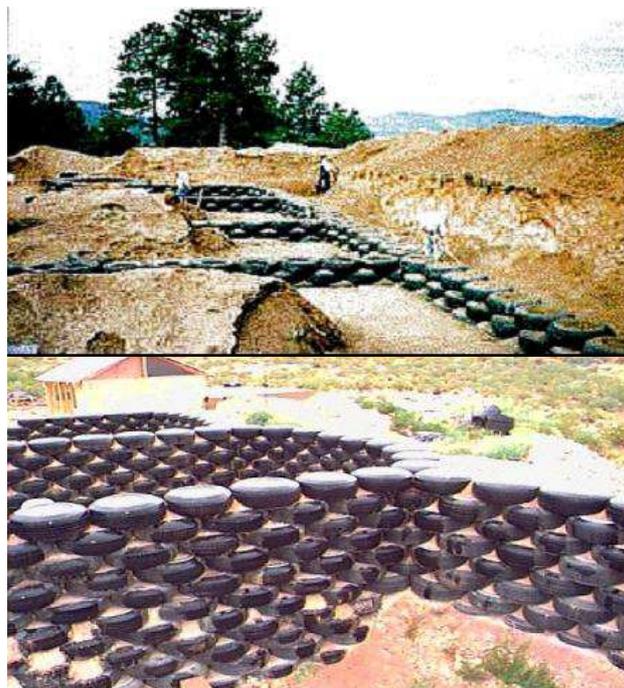




Figura 2.13 Construcción de cimientos y muros de viviendas con neumáticos usados
 Fuente: <http://webs.demasiado.com/tebeweb/inicioersh.htm>

2.5.3 Alternativas de Reciclaje con modificación física.

El primer paso en el procesamiento de un neumático usado normalmente consiste en reducir su tamaño mediante trituración. Este tipo de procesamiento incrementa las alternativas de reciclaje para encontrar usos secundarios. La trituración de un neumático usado puede lograr una reducción de volumen de hasta un 75%.

Varias de las alternativas de valorización de NFU requieren su trituración previa, sin embargo este proceso normalmente es de alto costo y consume gran cantidad de energía, generando problemas adicionales de polvo y ruido. Uno de los principales problemas identificados en muchos países es la falta de sistemas adecuados de control emisiones de material particulado, lo cual conlleva a la dispersión de partículas de caucho al ambiente, aumentando los riesgos a la salud de los trabajadores.

Los neumáticos triturados son más baratos de transportar que los neumáticos enteros. Los costos asociados a la trituración de un neumático usado están aproximadamente entre 0.50 y 0.90 dólares por neumático. Este valor referencial, sin embargo, solamente representa el precio de la reducción de tamaño. En general, existen otros costos que se deben incluir en el precio, por ejemplo, los valores de transporte, de personal y del terreno. (Lund, 1998).

La tabla 2.30 indica los porcentajes aproximados de materiales que pueden obtenerse desde el proceso de trituración.

Tabla 2.30 Productos de la trituración de neumáticos

Productos	NFU camión	NFU automóvil
Caucho triturado	70%	70%
Acero	27%	15%
Fibras y scrap	3%	15%

Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008.

Existen dos tecnologías generales de trituración: trituración a temperatura ambiente y trituración criogénica.

a) Trituración a temperatura ambiente:

Corresponde a un proceso netamente mecánico de trituración (sin enfriamiento) para conseguir "gránulos" de diferentes tamaños dependiendo de las etapas a las que se haya sometido. (Hervas, 2000) La eficacia de la separación entre el acero triturado y los textiles, del caucho, es

función del grado de molienda. La figura 2.14 muestra el diagrama del proceso de trituración a temperatura ambiente.

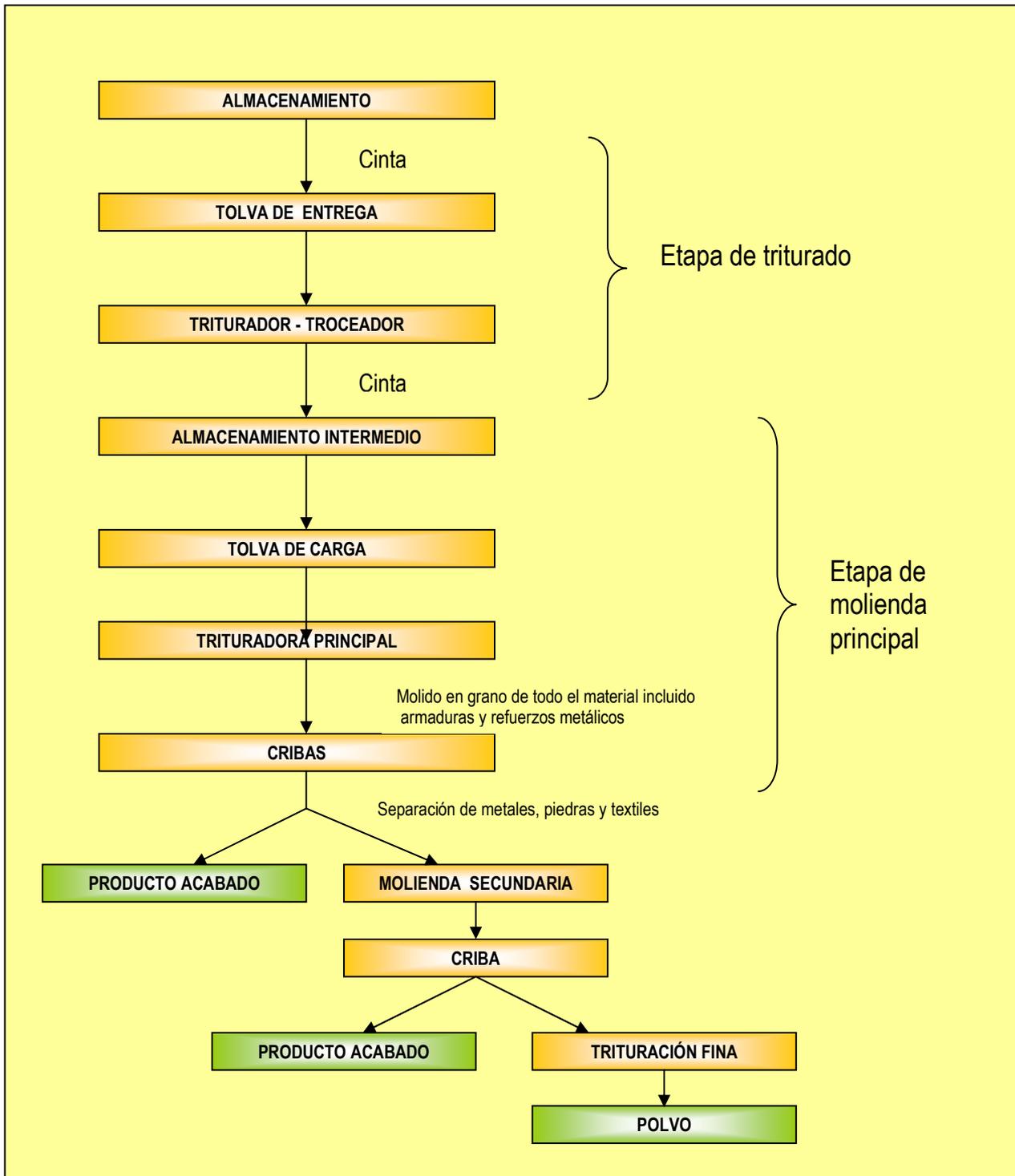


Figura 2.14 Proceso de trituración a temperatura ambiente Fuente: Hervas, 2000

La trituración puede ser lograda de dos modos: por granulación y por molienda. En el proceso el material entra en un molino o granulador a temperatura ambiente, la cual aumenta considerablemente durante el proceso debido a la fricción generada al ser desgarrado el neumático.

Los granuladores reducen el tamaño del caucho mediante corte por la acción de cuchillas. El tamaño del producto es controlado por tamices ubicados dentro de la máquina, los cuales pueden ser cambiados para variar el tamaño del producto final.

Otra forma es pasar el material por una serie de molinos, donde los primarios, secundarios y finales son muy similares, y operan básicamente bajo el mismo principio, ya que se usan dos grandes rodillos que van rotando, provistos de dentaduras que cortan el material, ubicadas en uno o ambos rodillos. La diferencia de los rodillos está en la configuración que se les da; estos funcionan cara a cara, muy juntos y con distintas velocidades. El tamaño del producto es controlado por el espacio libre entre los rodillos. El caucho, por lo general, es pasado por 2 o 3 molinos para alcanzar varias reducciones de tamaño del grano, y así poder separarlo de los otros componentes como fibras y acero que se encuentran en los neumáticos. Las partículas de caucho producidas en molinos tienen formas típicas alargadas, angostas y con una alta área superficial

El caucho obtenido por el proceso ambiental, se clasifica según el tamaño de las partículas en Neumáticos cortados, Neumáticos triturados en astillas (Chips), caucho en polvo y caucho en migas o granos. El producto obtenido normalmente tiene un tamaño ente 10 a 30 mesh (0,6 a 2 mm).

En general, los productos resultantes de este proceso son de alta calidad y exentos de impurezas, facilitando la utilización de este material en nuevos procesos y aplicaciones.

b) Trituración criogénica:

Este proceso utiliza nitrógeno líquido u otros materiales o métodos para congelar trozos de neumáticos o trozos de caucho antes de la reducción de tamaño, volviéndolo frágil y quebradizo como un cristal a temperaturas por debajo de -60° a -80°C.

El acero es separado mediante el empleo de imanes. La fibra textil es removida por medio de aspiración y selección. El material resultante presenta aspecto brillante y limpio, con superficies fracturadas y poco contenido de acero y fibra, debido a que la fragmentación ocurre por las uniones entre estos materiales y el caucho. Este proceso reduce el caucho a partículas entre tamaños de ¼" a un mínimo de tamiz N° 30.

El empleo de temperaturas criogénicas puede ser aplicado en cualquier etapa para la reducción de tamaño de los trozos de neumáticos. Este método requiere instalaciones muy complejas, lo que hace que sea poco rentable económicamente.

Los neumáticos se someten a bajas temperaturas, menores a -120°C la que corresponde al Nitrógeno líquido, en forma de espuma criogénica, en un túnel de ciclo cerrado aislado al vacío. Se obtiene una excelente molienda y una buena separación del caucho, acero y fibras textiles.

El método presenta la ventaja de recuperar los materiales que conforman los neumáticos usados de forma no contaminante. Por otra parte el sistema de tratamiento presenta problemas en cuanto a la complejidad de sus instalaciones y su alto costo de implementación y mantenimiento.

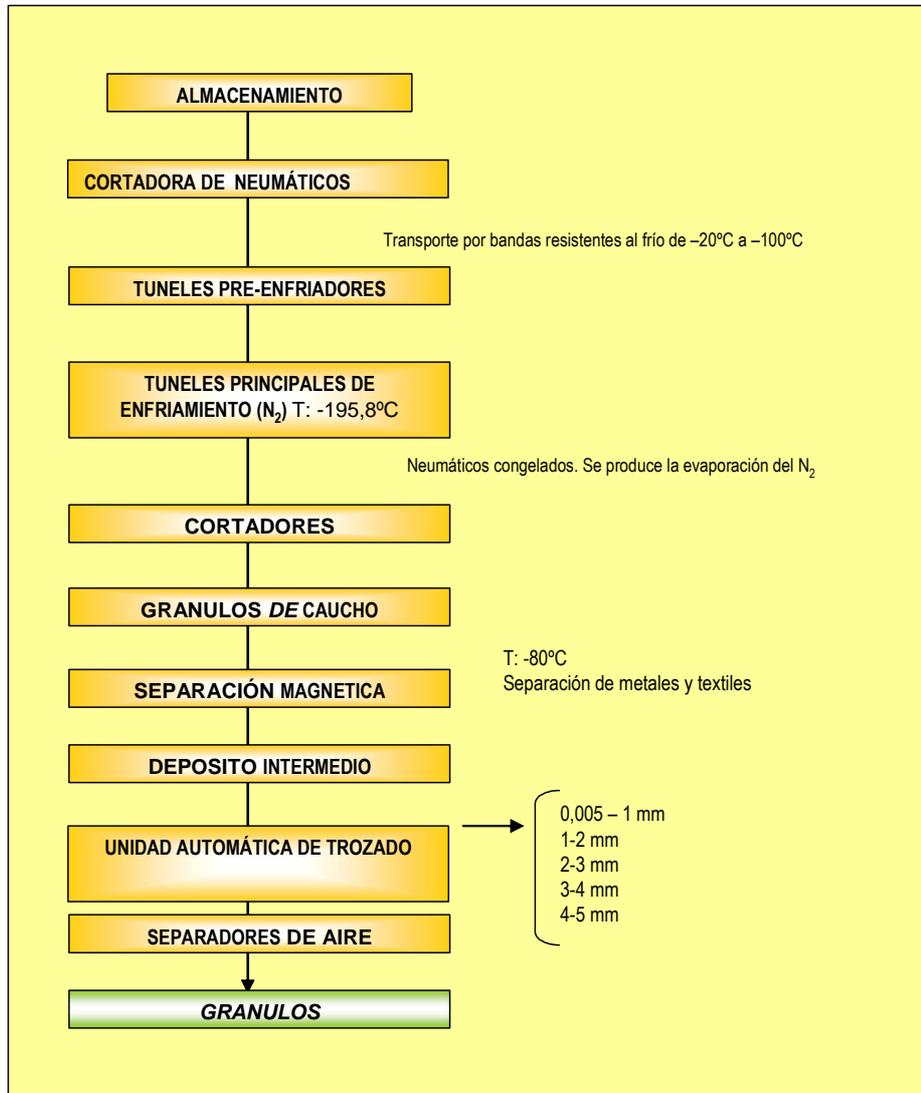


Figura 2.15 Proceso de trituración criogénica Fuente: Hervás 2000.

La tabla 2.31 muestra una comparación de variables de operación entre ambos procesos detallados previamente, en tanto la Tabla 2.32 detalla los diferentes tipos de productos de acuerdo a su granulometría.

Tabla 2.31 Comparación de procesos de trituración

Parámetro	Trituración a temperatura ambiente	Trituración criogénica
Temperatura de operación	Ambiente, hasta un máximo de 120°C	Bajo – 80°C
Principio de reducción de tamaño	Corte, abrasión	Quebrado criogénico
Morfología de las partículas	Esponjosa y rugosa, de alta área superficial	Lisas y uniformes, de baja área superficial
Distribución de tamaño de las partículas	Distribución de tamaño de partículas relativamente estrecha, sólo limitada por el número de pasos de trituración	Distribución de tamaño de partículas amplio (desde 10 mm a 0,2 mm)

Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008.

Tabla 2.32 Productos generados por la trituración de acuerdo a granulometría

Tamaño	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Polvo	0	1
Grano	1	10
Buffings (astillas)	0	40
Chips	10	50
Desmenuzado (shreds) corto	40	75
Desmenuzado (shreds) largo	75	300
trozos	300	NFU cortado a la mitad

Fuente: UNEP/CHW.9/18, 2008.

c) Proceso de Trituración Húmeda

Adicionalmente a las técnicas de trituración convencionales se han desarrollado otros procesos como el de molienda-húmeda el cual hoy en día es muy empleado para producir tamaños de grano finos (tamices 40 a 60) y muy finos (tamiz 60) requiriendo de una segunda etapa de alta intensidad de molienda.

También llamado micromolienda, es un proceso patentado en el que las partículas diminutas de caucho son reducidas a un menor tamaño por molienda entre dos ruedas muy juntas en un medio líquido, el cual generalmente es agua. Este sistema exige un sistema de secado para controlar el contenido de humedad, elemento que no se requiere en los otros procesos. Según el método utilizado para la producción de granos de caucho, se obtienen diferentes características en cuanto a la forma y textura de ellos.

d) Uso de caucho triturado en productos para pisos y superficies

El grano caucho puede ser utilizado en pistas de atletismo, caminos para footing y plazas de juegos infantiles pueden ser mejoradas con una capa de grano de caucho. Los espesores varían entre 1/8 y ¼ de pulgada para el primer caso y de entre ¼ a ½ para el segundo y tercer caso respectivamente. También se le ha usado para canchas deportivas, pistas de paseo y bicicleta. En varias de estas aplicaciones se debe aplicar un proceso intermedio de laminación.

Otros productos que han sido fabricados son colchonetas y pisos antifatiga. Las colchonetas de grano de caucho pueden tener varios usos y aplicaciones especiales, tales como pisos antideslizantes. Los pisos antifatiga son utilizados por trabajadores que se mantienen de pie durante muchas horas.

Debido a sus propiedades de absorción de energía, también es usada para el control de ruido y la vibración. La goma de neumáticos es muy flexible, lo que necesariamente permite que todos estos usos en la intemperie sean más durables que las superficies convencionales.

Un buen ejemplo son los campos deportivos o estadios, pistas atléticas e hipódromos. Debido a la gran cantidad de neumáticos requeridos para un solo tratamiento, esta aplicación tiene el potencial de consumir un significativo número de éstos, por ejemplo cerca de 13.000 neumáticos son requeridos para un campo de fútbol de 110 m x 70 m (equivalentes a cerca de 100 -130 ton/cancha, considerando el uso de NFU de vehículos livianos ya que las dosis de aplicación varía normalmente entre 10 y 18 Kg. / m²).

El caucho triturado también puede ser moldeado para fabricar alfombras de goma, aislantes de vehículos o baldosas de goma. Se ha usado como material para la fabricación de tejados, pasos de nivel, cubierta y aislante de vibración.

e) Aislante térmico

Los neumáticos trozados o producto triturado han sido usados como aislante térmico en una serie de obras de construcción, en reemplazo del material de relleno tradicional, ya que su resistividad térmica es cerca de siete a ocho veces mayor al de la gravilla. Su uso en países de clima frío se ha extendido desde aislar estructuras en caminos y calles, incluyendo su colocación bajo el asfalto para prevenir fisuras por efecto del hielo, hasta su utilización como reemplazo de material de relleno en la colocación de tuberías de conducción de agua potable.

f) Hormigón modificado

Los productos de concreto modificado con caucho (RUBCRETE) mejoran sus características de dureza, ductilidad, resistencia y absorción de impacto y reducen la aparición de fisuras. Poseen menor densidad y un mejor aislamiento acústico⁴⁰. Se les ha utilizado en la construcción de barreras de autopistas y similares, en base a una mezcla de hormigón convencional y agregado de caucho. Como desventaja, la reducción de la compresión puede limitar sus usos y se requiere mayor investigación para optimizar el tamaño de las partículas, el porcentaje de caucho, el tipo de cemento, el uso de químicos y las mezclas minerales, y los métodos de tratamiento previo de las partículas de caucho de acuerdo a las características del hormigón. Las dosificaciones de caucho han variado entre 3.5 a 8% en peso⁴¹

g) Reutilización en pavimentos asfálticos.

El asfalto caucho, es un material que mejora la durabilidad del pavimento asfáltico, debido a varias propiedades que adquiere en su fusión con caucho: (Lund, H. 1998).

- Elasticidad que es la resistencia al agrietamiento.
- Flexibilidad, que permite su adecuación al movimiento de la superficie
- Impermeabilidad, da estabilidad a la estructura, al impedir la filtración de humedad en los sentidos descendentes y ascendentes y además, evita la pérdida de los elementos volátiles
- Cohesión y adhesividad, reduce el desmoronamiento que ocurre en el borde de las grietas.
- Antioxidante, con lo que retrasa su endurecimiento y desgaste. Confirmando su rendimiento superior al asfalto convencional, respecto a las características de fricción, abrasión y deshielo.

Entre los procedimientos más usados para la incorporación de caucho de neumáticos en desuso en mezclas asfálticas esta el de **Vía Húmeda**, donde el caucho es mezclado directamente con el asfalto, produciéndose la modificación de este, y donde la composición del ligante Asfalto-Caucho esta formada por aproximadamente un 20% de caucho, y el de **Vía Seca**, donde los

⁴⁰ Sidiqqe 2008

⁴¹ Witozek 2004

granos de caucho se incorporan como una fracción más de áridos, sustituyendo parte de la fracción fina de la mezcla, siendo la cantidad de caucho aproximadamente un 1 al 4% del peso del árido

Al incorporar el caucho en las mezclas asfálticas, se aumenta su durabilidad y se mejoran sus propiedades mecánicas como resistencia y flexibilidad, contribuyendo además a mitigar el problema ambiental que producen los neumáticos en desuso. La vida útil de los pavimentos elaborados con caucho asfáltico es de 20 años o más, frente a los 10-12 años para los pavimentos de asfalto convencional.

La utilización de caucho en mezclas asfálticas no es reciente. Varios países, como USA, Canadá, Brasil y España entre otros, han incorporado este tipo de mezclas en tareas de conservación y construcción de pavimentos. En Chile, el estudio de las mezclas asfalto caucho se ha venido desarrollando desde el año 1999. Con el apoyo del MOP y del Instituto Chileno del Asfalto, la Empresa Probisa realizó un estudio del mejoramiento del asfalto en base a reciclado de neumáticos (2000). Cabe destacar la existencia de dos tramos de prueba realizados por la Dirección de Vialidad utilizando asfalto-caucho a través del proceso húmedo en porcentajes cercanos al 18%, el primero de ellos es un tramo de carretera en la XI Región realizado en el mes de mayo del 2004, y el segundo, en la V Región, en la Ruta 60-CH, llevado a cabo en el mes de marzo del año 2005. (Muñoz, 2006).

Incorporación del Caucho en la Mezcla Asfáltica

Los gránulos de caucho resultantes del triturado pueden mezclarse con el asfalto mediante tres tipos de procesos: proceso por vía húmeda, proceso por vía seca y proceso en refinería.

Proceso por Vía Húmeda:

En este proceso se unen los granos de caucho con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho, que es usada de la misma manera que un ligante modificado.



Figura 2.16 Proceso por vía húmeda (fuente Ramírez, 2006)

El cemento asfáltico modificado con caucho es llamado **asfalto-caucho**. Generalmente, el porcentaje de adición de caucho está entre 18-24% con respecto al peso del material ligante. El mezclado para alcanzar la viscosidad requerida se debe realizar en un estanque con agitación, a

una temperatura entre 180°C a 210°C con un tiempo de mezclado entre 1 a 4 horas. La alta temperatura causa que el caucho se hinche por la absorción de aceites aromáticos del asfalto. Las partículas hinchadas se vuelven pegajosas y desarrollan propiedades adhesivas. El tamaño ideal de las partículas de caucho agregado está en el rango de 0,6 a 0,15 mm. (UNEP, 2008).

El proceso de hinchamiento de las partículas de caucho no es una reacción química, porque las partículas de caucho no se funden en el asfalto. La reacción es semejante a una esponja seca, dura, cuando es sumergida en agua. A medida que absorbe el agua, se hincha y ablanda. La viscosidad del ligante asfalto-caucho depende básicamente del tipo de asfalto, del tipo de caucho, de la temperatura de mezclado y del grado de agitación mecánica durante el mezclado. Una vez que el ligante asfalto - caucho a logrado la viscosidad requerida se incorpora en el mezclador de la Planta Asfáltica para ser mezclado con los áridos.

En España, donde se ha propiciado el uso de estos productos, se han definido tres categorías de asfalto caucho: (CEDEX, 2007)

- Betún mejorado con caucho (BC): porcentaje de caucho del 8 al 12%
- Betún modificado con caucho (BMC) porcentaje de caucho entre 12 y 15%, características similares al asfalto modificado con polímeros
- Betún modificado de alta viscosidad con caucho (BMAVC) porcentaje de caucho del 15 al 22%, requiere elaboración en plantas in situ (aledañas a la obra) para evitar problemas de segregación de la mezcla. Este producto es similar al usado en carreteras en California, Estados Unidos.

El caucho asfáltico BC y BMC pueden elaborarse en planta (refinería) o in situ.

El uso del caucho asfáltico se orienta a:

- Capas en fases de pavimentación.
- Capas intermedias absorbentes de tensiones para pavimentos.
- Lubricantes para rutas superficiales.
- Revestimiento para lagos y lagunas.

Dentro de las ventajas del caucho asfáltico se pueden mencionar las siguientes

- Se mejora su recuperación elástica cuando es sujeto a altas cargas y cargas lentas.
- Aumenta su resistencia a *deformaciones permanentes* debidas a altas temperaturas, altas cargas y cargas lentas.
- Se mejora la resistencia a la *fractura permanente* ocasionada por bajas temperaturas y/o por cambios bruscos en las cargas aplicadas, ya que una falta de flexibilidad da lugar a las fracturas permanentes.
- Mejora considerablemente su resistencia a la fatiga.
- Mejora su desempeño.
- No se reblandece a altas temperaturas.
- No se fractura a bajas temperaturas.
- Proporciona mayor seguridad en las autopistas.
- Reduce la formación de roderas.
- Reduce significativamente los costos de mantenimiento.
- Reduce el ruido haciendo las autopistas más silenciosas (los niveles de reducción son del orden de 2 a 4 db (A) respecto a un pavimento convencional.(CEDEX 2007)

Las *deformaciones permanentes* generalmente se presentan en:

- Zonas de clima cálidos.
- Zonas de tránsito pesado.
- Zonas de estacionamiento (bajas frecuencias)

Las *fracturas permanentes* generalmente se presentan en:

- Zonas de climas gélidos.
- Zonas con cargas aplicadas rápidamente (altas frecuencias).

Proceso por Vía Seca (RUMAC: rubber modified asphalt concrete)

Este proceso usa el caucho reciclado como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, en un porcentaje entre 1% y 4% con respecto al peso total de los agregados. Se añade directamente en el proceso de mezclado de los áridos antes de adicionar el asfalto. En la mezcla no se producen reacciones debido al corto tiempo de mezclado, el cual no es suficiente para que se produzca una reacción similar a la que se produce en el método húmedo. A diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, sólo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de caucho y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando éstos alcancen cierta temperatura y antes de que el asfalto sea adicionado. Las temperaturas de mezclado son más altas que en el proceso húmedo, generalmente entre 160°C y 190°C.

Este proceso, sin embargo, está limitado a la aplicación de mezclas en caliente en los proyectos de pavimentación y no es un método apropiado para el tratamiento de superficies (UNEP, 2008). Este proceso se debe realizar in situ.



Figura 2.17 Proceso por vía seca (fuente Ramírez, 2006)

Tecnologías para el uso de caucho reciclado por vía seca⁴².

Las tecnologías más comunes en Estados Unidos para el uso del caucho por la vía seca son la tecnología PlusRide y la tecnología Genérica o sistema TAK, otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países.

a) PlusRide.

Esta tecnología fue originalmente desarrollada en Suecia a finales de los años 1960, y registrada en los Estados Unidos bajo el nombre comercial PlusRide por la empresa EnvitoTire. El caucho reciclado es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van de 1 a 3 % del peso total de los agregados, en partículas que van desde 4.2 mm (1/4") a 2.0 mm (tamiz N°10). El contenido

⁴² Ramírez, 2006

de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4%, y por lo general con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 %.

b) Genérica.

Esta tecnología fue desarrollada a principios de los años 1990 para producir mezclas asfálticas en caliente con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el caucho reciclado grueso como fino para compatibilizar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del caucho es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. A diferencia de las mezclas PlusRide, la granulometría del caucho se divide en dos fracciones en la que la parte fina se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica. El caucho puede llegar a necesitar una pre-reacción o pre-tratamiento con un catalizador para alcanzar un óptimo en la hinchazón de la partícula. En este sistema, el contenido de caucho reciclado no debe exceder el 2 % del peso total de la mezcla para capas de rodadura.

c) Convencional.

Esta tecnología fue desarrollada en España para usar el caucho reciclado en la mejora de mezclas asfálticas, empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menor cantidad de caucho, aproximadamente un dos por ciento del peso total de los agregados. Se distingue un proceso que utiliza partículas de caucho de hasta 2 mm y otro cuyo tamaño máximo es de 0,5 mm. (CEDEX 2007)

Este proceso se ha utilizado en carreteras, calles y aeropuertos. Sus ventajas radican en una mayor flexibilidad y durabilidad.

Proceso de Mezclado en Refinería (en planta).

Es semejante al proceso húmedo, diferenciándose en que la mezcla del caucho dentro del cemento asfáltico se realiza en la planta productora de asfalto. Este ligante modificado se transporta a obra en donde se combina con los áridos y filler para producir la mezcla asfáltica.

De acuerdo a los trabajos realizados a la fecha por el Laboratorio de Vialidad del MOP se han establecido las siguientes conclusiones recomendaciones⁴³:

- El caucho reciclado obtenido de los neumáticos en desuso puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como un agregado (proceso seco) o como un modificador del ligante (proceso húmedo).
- El caucho utilizado tanto por el proceso húmedo como por el proceso seco mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo hace que los módulos disminuyan y la deformación plástica aumente con relación a la mezcla convencional, pero permaneciendo los valores obtenidos dentro de los admisibles especificados para este tipo de material.
- Entre menor sea el tamaño máximo del caucho reciclado que se utilice para mejorar las mezclas asfálticas o modificar el ligante serán mejores los resultados obtenidos.
- Se puede utilizar las Bandas Granulométricas convencionales para la fabricación de mezclas asfálticas utilizando ambos procesos.
- El caucho reciclado contenido en una mezcla asfáltica no incrementa la emisión al ambiente de compuestos orgánicos volátiles. El proceso seco puede ser usado para mezclas asfálticas en caliente en granulometrías densas, abiertas o discontinuas.
- Las mezclas de crudo cambia constantemente, por lo que se recomienda siempre efectuar los ensayos de laboratorio requeridos para determinar el comportamiento de los

⁴³ Quezada 2006.

mismos con la adición de caucho reciclado.

- El asfalto-caucho fabricado mediante vía húmeda no debe ser utilizado después de haber transcurrido 48 horas de su fabricación.
- Como conclusión, no debe descartarse ninguno de los procesos de incorporación del caucho, sino que se deberá seleccionar en cada estudio de proyecto el proceso a utilizar, dependiendo si la solución es de mantenimiento o construcción y además de los costos que cada proceso tenga para ese caso particular.



Figura 2.18 Puesta en obra mezcla asfalto caucho (Fuente Ávila 2005)

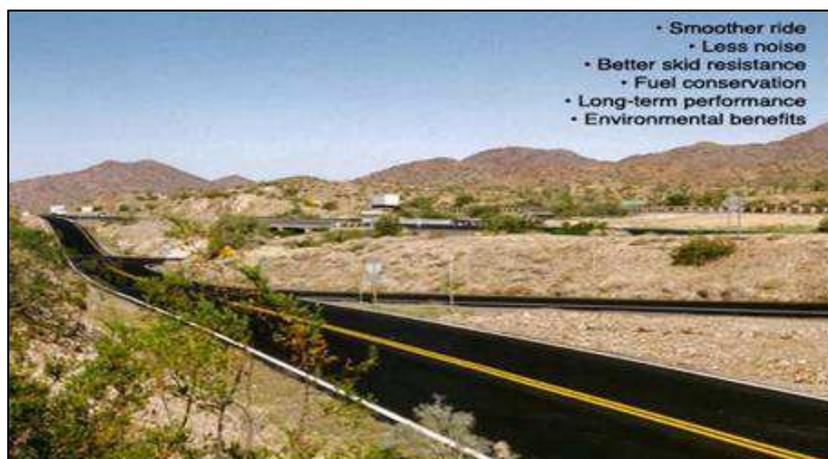


Figura 2.19 Carretera construida con asfalto caucho

El RUMAC utiliza cerca de 30 kg de caucho por tonelada de mezcla (considerando un promedio 3% en peso), lo que se consigue con el reciclaje de alrededor de cinco neumáticos de auto por tonelada de RUMAC (asumiendo uso de NFU vehículo liviano con 6 Kg de caucho útil). Por lo tanto, podrían utilizarse unos 750 NFU por kilómetro de carretera con dos carriles pavimentada con 7,5 cm de RUMAC. El asfalto caucho tipo BMAVC utiliza alrededor de 350 neumáticos de turismo por kilómetro de carril por centímetro de espesor (CEDEX 2007). Basándose en esos datos se pueden establecer las estimaciones siguientes, suponiendo el uso de NFU de vehículos livianos:

Producto	% caucho	NFU/Km carril x cm espesor	Unidades NFU/Km (carretera 2 carriles) espesor 5 cm	Ton NFU/km (carretera 2 carriles) espesor 5 cm
BMAVC	15- 22%	300-350	3000-3500	18 – 21
BMC	12-15%	200-300	2000-3000	12 – 18
BC	8-12%	140-200	1400-2000	8,4 - 12.
RUMAC	2-4%	35- 70	350-700	2,1- 4,2

De acuerdo a información del MOP, anualmente se están pavimentando alrededor de 500 a 600 Km con asfalto. No obstante, es importante mencionar que del total de asfalto colocado actualmente en el país menos de un 5% es del tipo modificado con polímeros⁴⁴, el que podría considerarse de características similares al producto con caucho, el resto es asfalto convencional. Siguiendo el mismo criterio, la tasa de uso de asfalto con caucho sería del orden de 25 a 30 Km./año y en la mejor condición esto implicaría el uso de 85 mil a 105 mil NFU/año, a menos que la tasa de uso de asfaltos modificados aumentase significativamente.

Esta situación debería cotejarse con los costos de estas nuevas tecnologías, lo cual da una idea del potencial de inclusión de las mismas. Como dato referencial se puede indicar que el costo inicial del RUMAC (Plus Ride) en Estados Unidos es aproximadamente el doble del costo del asfaltado convencional y el costo del caucho asfáltico es de entre un 40% y un 100% mayor que el costo del asfalto convencional. Sin embargo, la vida útil de los asfaltos con caucho es cercana al doble de la vida útil del concreto asfáltico convencional.

En el país existen entre 35 a 40 plantas de asfalto para procesos convencionales, las que se ubican espacialmente en casi todas las regiones del país⁴⁵; una parte importante podrían considerarse de tipo móvil por lo que su uso para la fabricación de este tipo de productos podría ser factible, pero requerirían la inclusión de equipos adicionales; por otra parte en cada caso se hará necesario determinar si su tamaño es conveniente para la magnitud del proceso a desarrollar (para evitar el sobredimensionamiento y mayores costos).

Para la evaluación de costos se consideran los siguientes factores:

- Costo del polvo de caucho, del mismo orden del asfalto.
- Costo por incremento de uso de energía por elevación de temperatura de fabricación de la mezcla bituminosa (10°C al menos)
- Costo debido a equipos adicionales necesarios para fabricar los productos in situ para vía seca (tolva dosificadora de polvo y equipo de mezcla en caliente).
- El proceso por vía seca requiere de procesamiento in situ, demanda más cantidad de ligante asfáltico, requiere un procedimiento especial para la adición del caucho, y un mayor tiempo antes de la compactación en obra.
- El proceso por vía húmeda requiere nuevos equipos en planta, como la unidad de mezclado y almacenamiento del asfalto-caucho, cambio de bombas y tuberías, y energía adicional para calentar la mezcla a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados. En algunos casos (específicamente para BMAVC) se requiere de plantas in

⁴⁴ Revista BIT 2004.

⁴⁵ Orellana , 2006 (www.ichasfalto.cl/opinion.php?id=2).

situ. Pero a la par también se reducen los costos de mantención, por lo que la evaluación se debe realizar caso a caso.

f) Devulcanización

En términos químicos devulcanizar significa revertir la goma de su estado elástico a un estado plástico. Esto se logra rompiendo los enlaces de sulfuro en la estructura molecular (enlaces C-S y S-S). Los métodos de devulcanización tradicional involucran la exposición de la goma a altas temperaturas y presiones por un largo período de tiempo. Debido al limitado éxito económico y las inquietudes medioambientales que esta técnica despierta, estos métodos son raramente utilizados hoy en día.

En los últimos años, se han desarrollado nuevos y promisorios métodos de devulcanización, éstos incluyen diversas técnicas mecánicas, el sistema De-Link desarrollada por STI-K Polymers Inc, técnicas de ultrasonido y devulcanización por medio de la acción bacteriana.

La devulcanización requiere un paso inicial de reducción de tamaño para luego desarrollar el proceso de rotura de enlaces químicos mediante alternativas como las siguientes:

Proceso químico: corresponde a un proceso discontinuo donde las partículas de caucho (entre 10 y 30 mesh) son mezcladas con otros reactivos en una reactor a temperaturas cercanas a 180°C y una presión de 15 bar. Una vez que la reacción se ha desarrollado el producto es filtrado y secado para remover componentes no deseados.

Proceso ultrasónico: las partículas de caucho se alimentan inicialmente a un extrusor donde su temperatura sube por efectos de presión y movimiento mecánico y la goma se ablanda, para luego ser expuestas a energía ultrasónica, la que permite la devulcanización.

Proceso por microondas: este proceso aplica energía térmica en forma rápida y uniforme sobre la masa de partículas DE GOMA. Su restricción es que sólo puede usarse en gomas que contengan compuestos polares.

Proceso biológico: La devulcanización biológica se logra mezclando partículas de caucho muy finas con un medio de cultivo que contenga bacterias en un bioreactor de operación discontinua, con temperatura controlada, formando un "barro" que se mantiene a temperatura y presión controlada por un periodo que puede varían entre 10 y algunos cientos de días. Al término del proceso, el reactor es descargado y el material procesado se filtra para remover los microorganismos y posteriormente pasa por una etapa de secado

La Tabla 2.33 indica algunos costos en función de la capacidad de producción de caucho devulcanizado. En función de los costos actuales del caucho este proceso aún es de alto costo para su implementación.

Tabla 2.33 Costos estimados para producir caucho devulcanizado

Tamaño	Proceso químico	Proceso ultrasónico
Capacidad (Kg/ hr)	34	34
Costo de capital (M US\$)	166	163
Costo operación y mantención (M US\$)	172	136

Fuente: UNEP, 2008.

2.5.4 Alternativas de Reciclaje para Valorización energética.

a) Combustible Alternativo

Los neumáticos usados son una excelente fuente de energía. Las instalaciones de combustión pueden construirse o modificarse para quemar los neumáticos enteros como combustible único, o conjuntamente con otros combustibles y/o residuos sólidos. Las incineradoras y calderas que queman solamente neumáticos necesariamente requieren de un suministro adecuado y continuo de neumáticos usados. Su operación es rentable, en las zonas geográficas de elevada población, que cuentan con una alta densidad de neumáticos usados. Las zonas de menor densidad podrían emplear incineradoras o calderas que acepten neumáticos junto con otros combustibles y/o residuos sólidos. La energía emitida en la combustión puede recuperarse en forma de luz eléctrica y/o vapor, ambos son productos comerciables. Los neumáticos se comportan como un buen combustible secundario ya que su poder calorífico está entre 6.500 y 9.000 Kcal/kg., dependiendo de su composición y si el metal ha sido removido.

La co-incineración es uno de los métodos más utilizados para la eliminación de neumáticos, puesto que disminuye considerablemente el volumen de los residuos, debido a la aplicación de calor que destruye la materia. Este sistema de tratamiento consiste en la transformación de los materiales combustibles en un producto gaseoso y un residuo sólido relativamente inerte, compuesto por escorias y cenizas, basándose en una combustión controlada, vía oxidación a altas temperaturas. (Hervas, 2000)

El proceso comienza con la separación inicial con el fin de recuperar materiales para su posterior reciclaje. Los neumáticos, antes de pasar al horno, pueden necesitar una homogenización de manera de optimizar el proceso de combustión y el funcionamiento de la planta. En el proceso de combustión se obtienen fundamentalmente dos subproductos: las escorias (Sólidos recogidos al pie del horno) y los gases. Las escorias pueden ser llevadas directamente a un vertedero, mientras que los gases son depurados con filtros o precipitadores electrostáticos que son capaces de atraer partículas contaminantes. (Hervas, 2000)

Los residuos producidos en el proceso son:

- Sólidos reciclables: alambres de acero y polvo rico en ZnO proveniente de los filtros de mangas
- Sólidos residuales constituidos básicamente de CaSO_4 , NaSO_4 y CaSO_3
- Gases residuales filtrados o lavados

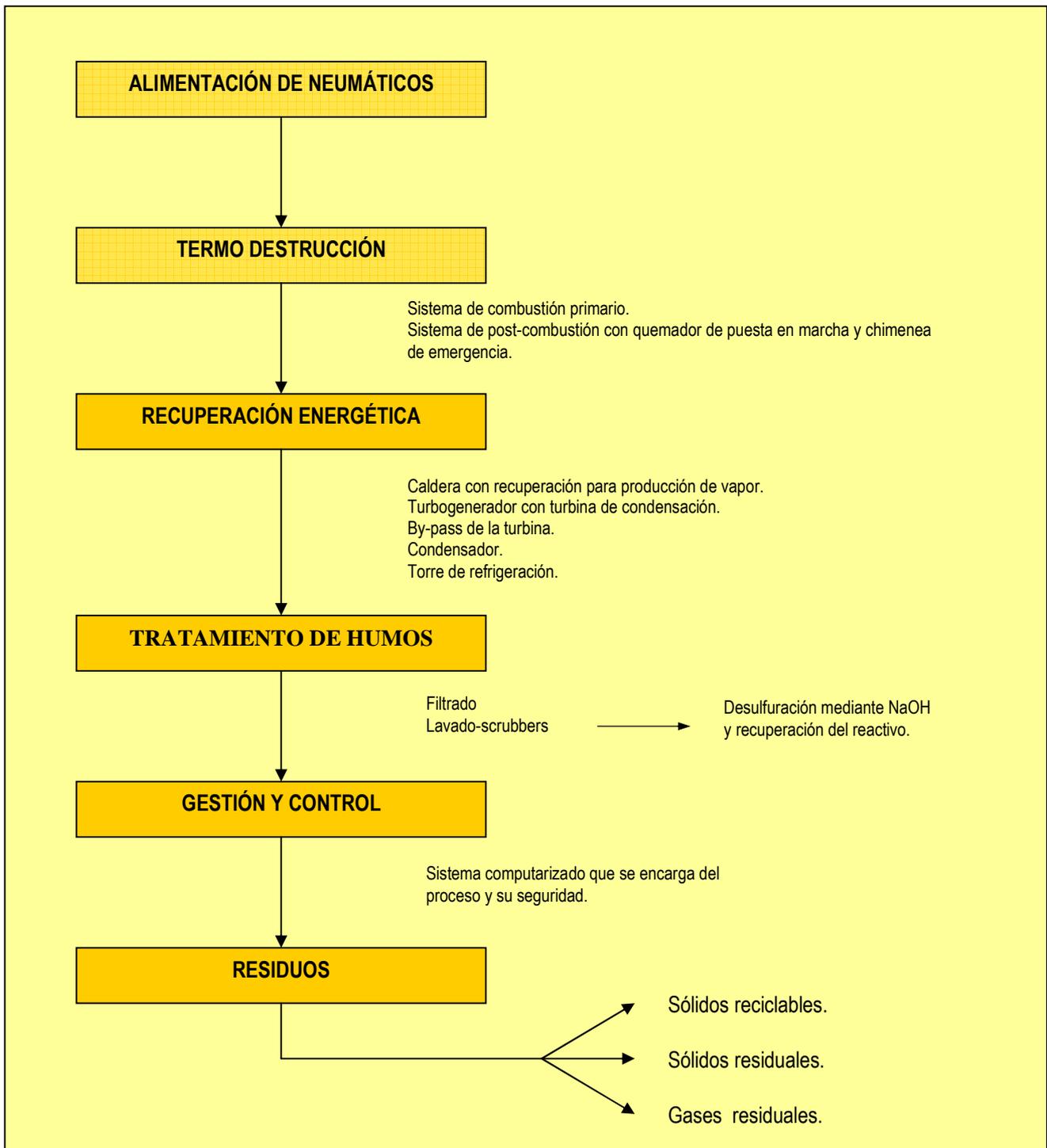


Figura 2.20 Diagrama del proceso de incineración. Fuente: Hervas, 2000

b) Pirolisis:

Consiste en producir la degradación térmica del material, en una atmósfera exenta de oxígeno, o en concentraciones suficientemente bajas para no causar combustión. El proceso genera un aceite de bajo contenido energético (comparado con aceite diesel), un gas sintético denominado SYNGAS (de bajo contenido calórico), negro de humo (de calidad variable) y acero.

Este sistema de tratamiento presenta la ventaja de generar productos orgánicos de uso habitual en la industria, así como degradar totalmente el neumático. Por el contrario, presenta el inconveniente de la separación de la gran cantidad de compuestos carbonados, ya que los productos obtenidos, se producen en cantidades mínimas, de tal forma que su recuperación y transporte hasta los centros de consumo no es económicamente viables. (Hervas, 2000). Por su complejidad se considera que su aplicabilidad es limitada para NFU (UNEP, 2008.)

La calidad del negro de humo es variable y normalmente menor a la del material usado en la fabricación de neumáticos, además el acero recuperado normalmente está contaminado con carbón lo que dificulta su uso.

Existen dos procesos de pirolisis, dependiendo de la temperatura de operación:

Pirolisis a baja temperatura: En este tipo de pirolisis se utiliza cera de polietileno a una temperatura que no supera los 400 – 500° C como medio de reacción para descomponer los residuos de polietileno en aceites de bajo punto de fusión, que contienen una gran cantidad relativa de oleofinas, ceras y hollina. (Hervas, 2000).

Los productos de mas interés son las fracciones con punto de ebullición bajo, y que contienen oleofinas (aproximadamente el 95% de la cantidad inicial) y que se pueden utilizar como materia prima en la síntesis orgánica. La cera y el hollín son extraídos de forma discontinua de la caldera.

Pirolisis a altas temperaturas: Los neumáticos usados son introducidos en un reactor de lecho turbulento auxiliar, de arena de cuarzo a una temperatura entre 630- 877° C. Como gas de fluidización se utiliza gas de pirolisis recalentado a 427° C en un intercambiador de calor. El aporte de calor se consigue mediante tubos de calefacción radiales calentados por propano o gas de pirolisis.

El proceso consiste en triturar el neumático usado en trozos de 10-25mm, que se almacenan en dos silos de 100 litros cada uno. La carga se hace mediante tornillos sin fin, refrigerados por agua, directamente en el lecho fluidizado con arena de cuarzo. El gas producido sale por la abertura superior. Estos gases producidos de nuevo, así como el de fluidificación, se pasan a través de condensadores y refrigerantes recogiendo diferentes condensados en depósitos adecuados y los no condensables del gas de pirolisis por otro. Este gas una vez comprimido, se pasa a depósitos, desde donde se envía al reactor, como gas de fluidificación y posteriormente a los quemadores.

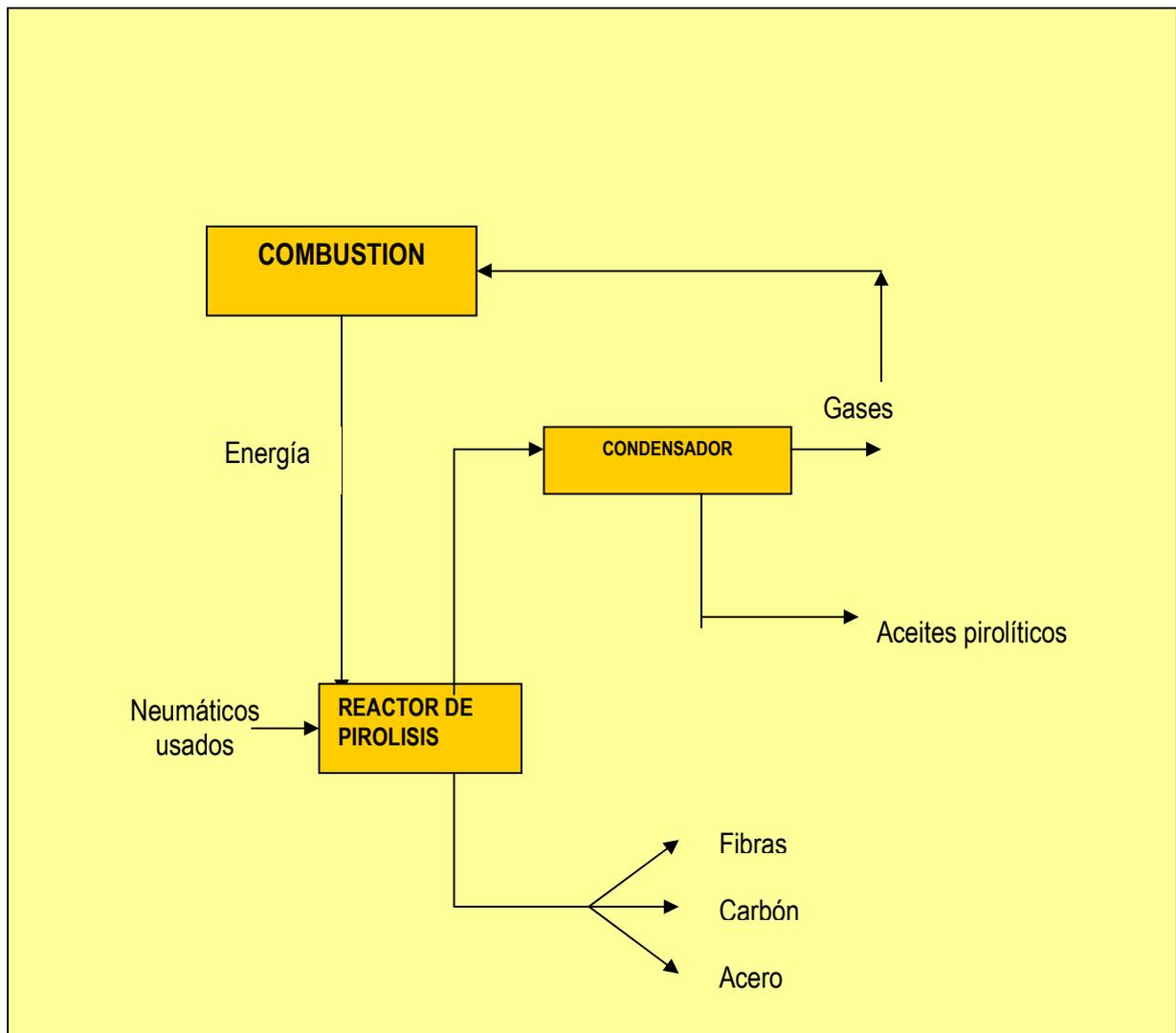


Figura 2.21 Diagrama del proceso de pirolisis Fuente: Hervas 2000

En la tabla 2.34 se detallan los productos que se pueden obtener mediante el proceso de pirolisis:

Tabla 2.34 Productos de la pirolisis de neumáticos

Por neumático	Por tonelada
7,57 litros de aceite	310-757 litros de aceite
3,1 kg de coque inferior	227-363 kg de coque inferior
1,3 kg de gas (1,6 m ³)	17-172 kg de acero

Fuente: Hervas, 2000.

c) Termólisis:

Este proceso consiste básicamente en someter el material polimérico del neumático (neumático triturado) a un gradiente térmico en torno a los 500° C en ausencia de oxígeno (atmósfera inerte). Como consecuencia de las reacciones de degradación térmica, se producen roturas de los enlaces químicos (craqueo), generándose hidrocarburos de cadenas cortas, medias y largas, constituyendo la fase gaseosa y sólida, siendo la composición básica del gas H₂, CO₂, CO, Hidrocarburos y vapor de agua. En cuanto a los sólidos, se trata de productos carbonosos, utilizables como materia prima combustible o materia prima de sustitución (materia filtrante, cargas minerales, entre otros).

El proceso de valorización por Termólisis de los neumáticos usados se puede dividir en tres fases:

- Preparación del residuo
- Descomposición térmica
- Generación energética

Cada una de estas etapas es parte de una secuencia que conforma el proceso de valorización integral, de forma que lo que se obtiene de una, constituye la materia prima de la otra. Así, en la etapa de preparación se trituran los neumáticos a una granulometría adecuada, sirviendo de materia prima para la etapa de termólisis. El proceso de termólisis descompone este material polimérico heterogéneo en gases y material carbonado, impidiendo la aparición de elementos contaminantes al medio ambiente. Por su parte, el material carbonado y los gases obtenidos en la termólisis se conducen a una cámara de combustión para generar vapor de agua y con este, energía eléctrica. Esta energía eléctrica es consumida en los equipos que componen el sistema de tratamiento con la posibilidad de comercialización de los excedentes. (Hervas, 2000).

Las ventajas principales son que existe una ausencia de combustión o quema directa en el material base, además se genera un aprovechamiento integral del neumático usado, es decir, hay una separación de materiales a baja temperatura antes de que entre a la caldera, conservando estos, sus propiedades originales, con la ventaja que ello conlleva.

Existe también un rendimiento energético global, en donde la termólisis permite la transformación de los componentes principales del neumático usados en carbono y gas. También hay una rápida amortización del costo de la instalación, la capacidad de cada planta es de 10.000 a 20.000 toneladas anuales, consiguiendo una producción eléctrica de 2.5 a 5 MW respectivamente.

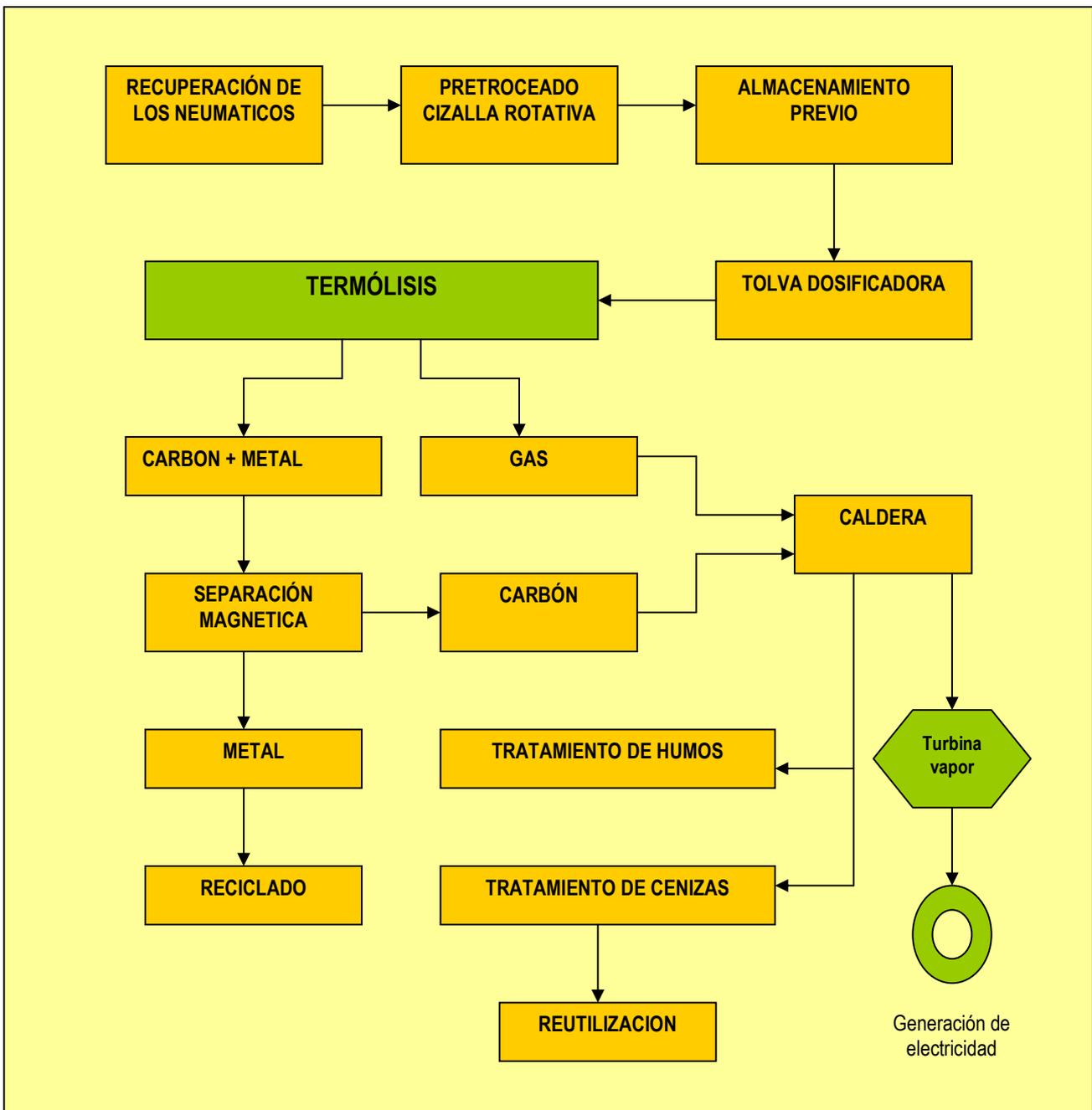


Figura 2.22 proceso de Termólisis (Fuente Hervas 2000)

2.5.5 Riesgos e impactos en algunas alternativas de valorización de los NFU

a) Potenciales emisiones debidas a la combustión de NFU en hornos de cementeras⁴⁶

Según experiencias internacionales las emisiones orgánicas y metálicas de un horno de cemento bien diseñado y correctamente operado, con adecuados sistemas de control de emisiones de gases y partículas, no varía sustancialmente de las emisiones de un horno de cemento en el que se emplee exclusivamente combustible convencional. No obstante se recoge información que permite estimar la tendencia esperada en la peor condición para cada una de las emisiones.

- Óxidos de nitrógeno y otros compuestos nitrogenados

La formación de NO_x es consecuencia de la alta temperatura de combustión. Su formación se da principalmente por el aire de combustión (NO_x térmico). Si bien una parte del contenido de nitrógeno en los neumáticos podría, teóricamente, provocar la formación de NO_x , la probabilidad es mínima, dado los bajos contenidos de nitrógeno en el neumático frente a otros combustibles en uso, como el carbón.

- Dióxido de azufre y otros compuestos sulfurosos (SO_x)

El azufre entra en el proceso como parte de los combustibles y de las materias primas (en este caso, como sulfatos o sulfuros). El azufre que entra como sulfuro en las materias primas es parcialmente evaporado (~30%) en las primeras etapas del proceso. El resto del azufre que entra por las materias primas y el total aportado por los combustibles será capturado íntegramente en el clínker y no aparecerá en las emisiones.

En general, los hornos de vía seca, trabajando con materias primas bajas en azufre, no presentan problemas significativos de emisiones de SO_x y su generación se ve reducida por el uso de neumáticos desechados al contener estos menores porcentajes que el carbón. La emisión de SO_2 es influenciada en mayor grado por sulfuro volátil en la mezcla de crudo que por el combustible alternativo.

- Monóxido de carbono (CO)

La combustión en el quemador secundario de neumáticos a menudo produce una emisión mayor de CO. Una elevada tasa de combustión y/o valores máximos de la tasa de alimentación (neumáticos enteros) puede provocar problemas al ingresar mayor cantidad de aire que hace bajar la temperatura en el precalcinador.

- Dióxido de carbono (CO_2)

La emisión de CO_2 se sitúa entre 800 y 900 Kg/t de clínker. Casi un 60% de esta emisión proviene del proceso de calcinación, y es por tanto inevitable. El resto, deriva de la combustión de los combustibles. La emisión de CO_2 en la combustión de los neumáticos representa un porcentaje bajo en relación al aportado por las materias primas. Su formación es inherente al proceso de calcinación. Cabe señalar, sin embargo, que los cambios de tecnología, la mejora de la eficiencia de los procesos de combustión ha reducido en más del 30% las emisiones asociadas de CO_2 en los últimos 25 años.

- Metales y compuestos metálicos

El proceso cementero tiene una gran capacidad para capturar los metales que entran con los materiales o los combustibles. Los metales son absorbidos en el clínker o en el polvo recogido en el filtro. Está ampliamente demostrado que el uso de combustibles alternativos como los neumáticos, no conduce a un incremento significativo de los metales en el cemento ni en el polvo del horno, y que tampoco se ven afectadas las emisiones cuando se limitan las entradas de los volátiles. Un adecuado sistema de reducción de la emisión de partículas en los gases de la chimenea garantiza la reducción de las emisiones de metales.

⁴⁶ Cano, 2007; Ministerio M. Ambiente España 2003

- Dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF)

Las dioxinas son compuestos químicos presentes en el medio en concentraciones sumamente pequeñas. En el proceso cementero, la presencia de cloro o hidrocarburos precursores en las materias primas o combustibles en cantidades suficientes, podrían ser causa de formación de estos compuestos en los procesos de combustión. En la práctica se constata que la formación de PCDD/F no está influenciada por la co-combustión de combustibles alternativos. Pruebas realizadas en hornos de la Unión Europea y la abundante literatura disponible confirman que los hornos de cemento, debido a los largos tiempos de residencia a altas temperaturas son idóneos para destruir residuos químicos orgánicos por lo que no suponen ningún peligro para salud humana o el medioambiente.

- Compuestos orgánicos volátiles (COV)

La emisión de compuestos orgánicos puede ocurrir en las primeras etapas del proceso, al volatilizarse la materia orgánica presente en las materias primas al entrar en contacto con los gases calientes. En la industria del cemento, estas emisiones no son indicadoras de combustión incompleta (dada la muy alta temperatura, largos tiempos de residencia y condiciones de exceso de oxígeno del proceso). La cantidad de emisiones de compuestos orgánicos es tan pequeña, que no representa un aumento perceptible de riesgo para la salud pública o el medioambiente. La descarga de gases típica de un horno de cemento contiene menos de una décima parte de los hidrocarburos presentes en los gases de descarga de un automóvil.

- Partículas

Históricamente, la emisión de polvo, especialmente de la chimenea del horno, ha sido el impacto ambiental más significativo en la producción de cemento. Las principales fuente de partículas son los hornos, los molinos de materias primas, enfriadores de clínker y molinos de cemento. La naturaleza del polvo recogido en los tres focos principales es: materia prima en las emisiones particuladas del horno, finos de clínker en el enfriador y producto final (cemento) en los molinos de cemento. La eficiencia de electrofiltros y filtros de mangas permiten reducir las emisiones de partículas de los focos principales a niveles muy bajos. La incineración de neumáticos desechados no tiene influencia en la emisión de partículas del horno, que sólo depende de la eficiencia de los equipos de control de polvo.

La tabla 2.35 entrega algunos datos de la composición de la ceniza de un neumático, en tanto, la tabla 2.36 entrega información de la concentración de contaminantes esperada en los gases de un horno cementero.

Tabla 2.35 Análisis mineral de la ceniza de neumático (porcentaje representado en peso)

Compuesto	%
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	22.00
Dióxido de Aluminio (AL ₂ O ₃)	9.09
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1.45
Óxido de Calcio (CaO)	10.61
Dióxido de Titanio (tiO ₂)	2.57
Óxido de magnesio (MgO)	1.35
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	1.10
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.92
Azufre en (SO ₃)	15.68
Fósforo en (P ₂ O ₅)	1.03
Óxido de Azufre (ZnO)	34.50

Fuente: Ramos 1997.

Tabla 2.36 Concentración de contaminantes en los gases de un horno cementero

Emisiones representativas	Valores	Limite superior (*)
Partículas (polvo)	20-200 mg/Nm ³	150 mg/Nm ³
NO _x	500-2.000 mg/Nm ³	1000 mg/Nm ³
SO ₂	10-2.500 mg/Nm ³	2000 mg/Nm ³
TOC	10-100 mg/Nm ³	150 mg/Nm ³
CO	500-2.000 mg/Nm ³	1000 mg/Nm ³
Fluoruros	<5 mg/Nm ³	4 mg/Nm ³
Cloruros	<25 mg/Nm ³	26 mg/Nm ³
PCDD/F	<0.1 ng/Nm ³	0.2 ng/Nm ³
Metales pesados		
-Grupo I (Hg, Cd, Tl)	<0.1 mg/Nm ³	0.15 mg/Nm ³
-Grupo II (As, Co, Ni, Se, Te)	<0.1 mg/Nm ³	0.15 mg/Nm ³
-Grupo III (Sb, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn) + Zn	<0.3 mg/Nm ³	4.13 mg/Nm ³

(*)Límites exigidos por la Unión Europea. Fuente: Ministerio Medio Ambiente España 2003

Nm³ = metros cúbicos normales.

b) Impactos del proceso de recauchaje

Desde el punto de vista de uso de materiales, el recauchaje usa un porcentaje menor de materias primas, comparado con la elaboración de un neumático nuevo y la energía necesaria para recauchar un neumático es aproximadamente de 400 MJ, en comparación con los 970 MJ necesario para fabricar uno nuevo.

El proceso de recauchaje genera emisiones al aire, principalmente compuestos orgánicos volátiles, COVs, provenientes de los solventes usados, agentes de cementado y compuestos de caucho durante la vulcanización. Los olores generados también pueden ser un tema importante en algunas áreas. Adicionalmente se genera una cantidad importante de residuos sólidos correspondientes al caucho removido desde los neumáticos antes de recauchar, pero este material puede ser valorizado en otros usos.

El recauchaje es un proceso ambientalmente benéfico ya que minimiza la generación de residuos y además incrementa la vida útil de del neumático. Sin embargo, este razonamiento sólo es valido si la carcasa que sirve como materia prima para el recauchaje se ha originado desde neumáticos usados dentro del mismo país de origen.

C) Impactos de la trituración a temperatura ambiente

Este proceso de trituración genera bastante ruido, polvo y emisiones de SO_x y NO_x, además de consumir gran cantidad de energía (120 a 125 Kwh./ton.). A fin de garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, todo el equipamiento debe poseer sistemas adecuados de ventilación, sistemas para control de incendios. El uso de elementos de protección, como zapatos de seguridad, casco, guantes, protectores auditivos y lentes debe ser obligatorio. El sitio debe contar con un lugar apropiado para almacenar el material triturado, protegido de la luz solar.

D) Impactos de la aplicación en asfaltos

El impacto del uso de caucho en asfaltos aún no esta completamente claro. Mientras algunos países, como España, se orientan a evaluar fundamentalmente el impacto del proceso e indican que los niveles de emisiones del proceso no varían significativamente frente a los de un

proceso convencional de mezcla asfáltica, no generándose problemas a la salud de los trabajadores. Por el contrario, otros estudios realizados Reino Unido y Estados Unidos se orientan también a evaluar los potenciales impactos ambientales y riesgos a la salud en el uso del material (UNEP,2008). Se indica un probable potencial de ignición bajo ciertas condiciones en zonas de altas temperaturas y una mayor exposición de los trabajadores a monóxido de carbono y material particulado que puede contener compuestos aromáticos policíclicos y compuestos de sulfuro. Por lo anterior, se indica la necesidad de complementar la información respecto de sus potenciales impactos al ambiente y a la salud de la población.

d) Impactos de la devulcanización

Existe información de potenciales impactos en la devulcanización mediante procesos químicos y ultrasónicos, los cuales indican la emisión de aproximadamente 50 compuestos orgánicos, incluyendo benceno, tolueno y heptanos. También se plantea la posibilidad de generar emisiones de SO₂ y H₂S, por lo cual el proceso requiere filtros para el control de emisiones de partículas y lavadores de gases (cuyos efluentes líquidos) deben ser tratados adecuadamente.

e) Impactos en el uso de NFU en obras de ingeniería

El principal impacto tiene que ver con el potencial de lixiviación de metales o compuestos hidrocarbonados. Existen algunas regulaciones a nivel internacional que definen los límites máximos en el lixiviado de acuerdo a la aplicación, según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.37 límites máximos en lixiviado de acuerdo a uso

Aplicación	Parámetro	Límite (g/L) (excepto los indicados)	
Relleno liviano en obras de infraestructura	Ph	5.5 – 9.0	
	Conductividad	1000 uS/cm	
	COD	30 mg/L	
	Amonio	0,5 mg/L	
Reforzamiento laderas en terrenos	Arsénico	10	
	Cadmio	1	
	Cromo total	50	
Uso en laderas rellenos sanitarios	Plomo (total)	50	
	Mercurio	1	
Barreras de ruido	Selenio	10	
	Boro	2000	
Aislación térmica	Cobre	20	
	Níquel	50	
	Zinc	500	
	Cianuro (libre)	50	
	Sulfatos	150 mg/L	
	Sulfitos	150	
	Sulfuro (libre)	150	
	Fenoles	0,5	
	Cloruros	200 mg/L	
	PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos)	0,2	
	Control de erosión	(todos los indicados, si fuese necesario)	

Fuente regulación Reino Unido (datos UNEP 2008)

2.5.6 Evaluación Técnico - económica de alternativas de valorización de NFU.

De acuerdo a los datos de la estimación de NFU generados anualmente y las alternativas actualmente en uso para su valorización o disposición se determina el escenario actual mostrado en la tabla 2.38. Los datos se entregan en toneladas ya que la cuantificación por número de unidades es poco precisa, debido a la variabilidad de tipos y tamaños de los NFU generados.

Tabla 2.38 Condiciones actuales de manejo de NFU en Chile

Condiciones actuales de manejo	Toneladas/año (base 2007)	Porcentaje respecto a total NFU actuales
Recambio inicial (total)	60.150	-
Recauchaje	13.803	-
NFU actuales	46.347	100
Coincineración	2.244	4,8 %
Uso en rellenos sanitarios	3.000	6,5 %
Uso agrícola, infraestructura y municipal (estimado)	2.000	4,3 %
Vertido "desconocido"	39.103	84,4 %

Si se comparan los resultados de la tabla 2.38 con valores reportados en distintos países (por ejemplo en España, tabla 2.22) previo al inicio de acciones de gestión de NFU se observan tendencias similares, con más de un 80% de NFU enviados a vertido desconocido.

De acuerdo a la distribución geográfica de los NFU obtenida en forma previa, la Región Metropolitana concentra cerca del 40% de la generación nacional de NFU⁴⁷, si se consideran las otras regiones de la zona central (V a VII Región), el porcentaje de generación es casi del 60%. Lo anterior permite establecer un primer escenario de trabajo en la zona central, donde se concentra el porcentaje más importante de NFU, lo cual define un radio de operaciones de alrededor de 200 kilómetros para efecto de operaciones de transporte.

Es importante destacar que no todos los NFU que actualmente tienen un destino "desconocido" (en cuanto a volumen, ya que se encuentran dispersos en diferentes lugares de disposición no autorizados o son usados en prácticas ilegales) podrían ser recuperados para valorización. Un valor conservador permite suponer que se podría recuperar entre un 30 a 40% de los mismos en el mediano plazo⁴⁸.

A partir de la evaluación de tecnologías descrita previamente se determina una amplia gama de posibilidades para obtener un mismo producto, partiendo de diversos tipos de neumáticos y de alternativas de recuperación de caucho. Como ejemplo, se muestra en la tabla 2.39 el potencial de aplicación de NFU en diversas obras civiles de acuerdo a su origen, tecnología de tratamiento y destino de uso.

⁴⁷ Estimación basada en el parque automotriz, no se consideran los OTR mineros, cuya mayor concentración está en la zona norte, con una generación de aproximadamente 12.000 toneladas anuales.

⁴⁸ Tomando como referencia la tasa de reciclaje de RSU en la Región Metropolitana, la que luego de varios años de sensibilización no superaba el 10% promedio y que para residuos como papel y cartón bordea el 50%.

Tabla 2.39 Evaluación de la aplicabilidad de NFU en obras civiles de infraestructura

Aplicación	E	NT	T	C	G	P	D	PP	Origen	Tecnología
Arrecifes artificiales	x								NPE	M
Aditivo para concreto								X	T	P
Control de erosión	X		X	X					NPE, NCE, M	M, A
Rellenos sanitarios	X		X	X					NPE, NCE	M, A
Estabilización de laderas	X		X	X					NPE, NCE	M, A
Caminos provisorios	X		X	X					NPE, NCE	M, A
Aislamiento térmico	X		X	X					NPE, NCE, M	M, A
Barreras de caminos	X	X	X	X					T	M, A
Material de relleno liviano	X		X	X					NPE, NCE, M	A
Barreras acústicas	X	X	X	X					NPE, NCE, M	M, A
Aditivo en asfalto						X	X	X	T	P, D
Asfalto caucho					X	X			NPE, NCE, M	A, C
Carpeta de rodado					X	X	X		T	A, C, D

Fuente UNEP 2008

Materiales		Origen		Tecnología (reducción tamaño)	
E	Neumático entero	NPE	Neumático auto pasajeros entero	M	corte y compresión
NT	N. Trozado (< 300mm)	NCE	Neumático camión entero	C	Trituración criogénica
T	Trozos (50 – 300 mm)	M	Mezcla N. auto/camión entero	D	Devulcanización
C	chips	T	Todo tipo de neumático	P	Pirolisis
G	granulado			A	Trituración ambiente
P	polvo				
D	Caucho devulcanizado				

A fin de determinar las aplicaciones que podrían presentar un desarrollo más promisorio en el corto y mediano plazo en Chile, se desarrolló una primera evaluación de condiciones de uso, ventajas técnicas, nivel de desarrollo de la tecnología y estimación de costos tanto para alternativas para NFU enteros como triturados, la que se detalla en la tablas 2.40 a 2.42.

Tabla 2.40 Evaluación de alternativas de valorización de NFU Enteros o trozados

Tecnología NFU	ventajas	desventajas	Proyección uso	Potencial de uso en corto y mediano plazo	Costos involucrados	Inversión
Coincineración	Alto poder calorífico. Reduce uso de combustible tradicional no renovable. Aporta materia prima para fabricación de clinker	Menor grado de valorización respecto a otras alternativas pues recupera sólo parte de la energía usada para fabricar un neumático. Corresponde a valorización sólo para la industria cementera quien cobra por el servicio	Capacidad actual 1.500.000 NFU/año (20% combustible) 10.000 ton, es posible aumentar tasa actual	EN USO	Costo incineración (alrededor de US\$ 80/ton) Costo transporte	Ya existente (industria cementera)
Estabilización de	Baja densidad,	Requiere sistemas	500 m x 1 m	ALTO	Costo	Ya existente

laderas y control de erosión.	durabilidad. Reemplaza uso de otros materiales de construcción.	de anclaje y mantenimiento periódica. Potencial lixiviación.	altura 750 NFU ⁴⁹	NFU entero o trozos	transporte e instalación.	(CONAF)
Relleno liviano	Menor peso, flexible, buen drenaje. Reemplaza uso de otros materiales de construcción.	Potencial de lixiviación, problemas de deformación con cargas verticales, dificultad de compactar al mezclar con el suelo.	LLantion (100 NFU comprimidos 1, 5 m ³ , peso 0,9 ton)	MEDIO NFU entero o comprimido	Costo transporte e instalación	Eventualmente la instalación de una máquina compactadora.
Aislante térmico	Baja conductividad térmica, no requiere remoción de la fracción de acero. Reemplaza uso de otros materiales	Problema de compresión, se debe evaluar la recepción del nuevo producto por parte de empresas constructoras. Eventualmente impacto visual	Depende de dimensiones	MEDIO NFU entero o trozos	Costo transporte e instalación	-
Barreras acústica caminos	Menor costo de mano de obra, liviano durable. Reemplaza uso de otros materiales	Eventualmente impacto visual y acumulación de vectores (si no están rellenos)	1 Km. x 3 m altura horizontal 20.000 NFU auto ⁵⁰	ALTO NFU entero o trozos	Costo transporte e instalación.	-
Rellenos sanitarios	Material de relleno de baja densidad. Menor costo en comparación con otros materiales como grava ^{50, 51} . No requiere operarios calificados	Potencial lixiviación de metales y compuestos de hidrocarburos	190.000 NFU auto/año Estimación para 3 rellenos sanitarios RM	ALTO NFU entero	Costo transporte e instalación.	Ya existente
Caminos provisorios	Baja densidad, durabilidad. Reemplaza uso de otros materiales	Requiere sistemas de anclaje y mantenimiento periódica	1 Km. 3 m ancho (horizontal 3000 NFU camión ⁴⁴	MEDIO NFU entero	Costo transporte e instalación.	-

Los costos de transporte se consideran en base al uso de camiones de 10 toneladas, capaces de transportar aproximadamente 7000 neumáticos al mes⁵² (80% NFU auto o Camioneta - 20% NFU camión o Bus). De acuerdo a datos entregados por empresas de transporte, el costo de transporte con este tipo de camión sería del orden de \$100.000 a \$ 200.000 por viaje, en un radio de 100 a 200 kilómetros, lo cual es un valor referencial ya que este ítem se negocia en cada caso.

El reciclaje de NFU enteros, en la mayoría de las aplicaciones indicadas es una opción viable, con beneficios económicos y ambientales desde el punto de vista de ahorros por reemplazo de materiales de construcción tradicionales, a diferencia de la mayoría de las opciones

⁴⁹ UNEP 2008

⁵⁰ UNEP 2008

⁵¹ A pesar de que a nivel internacional se considera una alternativa viable, en Chile, de acuerdo a información del MOP, no ha dado buen resultado su reemplazo como sustituto de grava.

⁵² información entregada por CINC

tecnológicas que utilizan NFU triturados, las cuales generan productos de mayor valor agregado que pueden ser comercializados, tal como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 2.41 Evaluación de alternativas de reducción de tamaño de NFU

Tecnología trituración	ventajas	desventajas	Proyección uso	Potencial de uso en corto y mediano plazo	Costos involucrados	Inversión
Trituración Mecánica	Proceso de separación a temperatura ambiente, de tipo mecánico, no requiere infraestructura adicional. Permite adecuada separación de caucho, acero y tela. No requiere personal especializado.	Posibles problemas de salud ocupacional por emisiones de partículas	Obtención de caucho en un amplio rango de tamaño de partículas, además de acero y fibra.	ALTO	Costo energía (120 a 125 Kwh./ton), costo trituración, alrededor de 0,5 US\$/NFU	Inversión en equipos para molienda
Trituración criogénica	Apropiado para obtener partículas lisas y de alta uniformidad. El nivel de emisiones de particulado es mínimo.	Proceso de separación que requiere muy bajas temperaturas, requiere infraestructura adicional. Requiere personal especializado. No permite una adecuada separación de caucho, acero y tela.	Obtención de caucho en un amplio rango de tamaño de partículas, acero y fibra, pero mezclados.	MEDIO	Costo energía (120 a 125 Kwh./ton) costo trituración cercano a 1 US\$/NFU costos de mantención de maquinaria y personal más altos	Inversión en equipos para criogenisis y molienda

Desde el punto de vista técnico (tecnología menos compleja, mejor separación de componentes) y económico (menores costos de inversión, operación y mantención), el sistema a temperatura ambiente se considera el más apropiado, en el caso de requerirse la trituración de un NFU de tamaño estándar no superior a 1.0 -1.2 metros de diámetro. Para mayores tamaños podría requerirse algún sistema adicional de corte previo (por ejemplo con agua a presión). A partir de la trituración se obtiene un rendimiento cercano al 70% de caucho, además de acero como subproducto adicional (15 a 27%, dependiendo del tipo de NFU). Adicionalmente, es importante mencionar que en la tecnología de asfalto caucho, las características de las partículas obtenidas por trituración mecánica a temperatura ambiente son mucho más apropiadas a la aplicación, ya que por su mayor área superficial permiten una reacción más rápida con el ligante.

Como dato referencial se tiene que una planta de trituración mecánica para procesar entre 10.000 y 18.000 NFU estándar/año (capacidad máxima) representaría una inversión del orden de 1.2 a 2.5 MM US\$⁵³ y el precio de mercado actual del caucho triturado esta en el orden de US\$ 700/ton⁵⁴.

⁵³ Fuente: datos Proyecto POLA, 2008 información proyectos en SEIA.

⁵⁴ Fuente Sensei Ambiente

Tabla 2.42 Evaluación de alternativas de valorización de los NFU triturados

Tecnología NFU	ventajas	desventajas	Proyección uso	Potencial de uso en corto y mediano plazo	Costos involucrados	Inversión
Asfalto caucho (proceso vía húmeda)	Mayor durabilidad (20 años) Menores requerimientos de manutención, disminuye deformaciones y grietas (sobretudo a baja temperatura) reduce nivel de ruido de circulación. Se ha avanzado en investigación local.	Requiere equipamiento adicional y en algunos casos plantas in situ. El proceso requiere de operarios calificados. Existe dificultad para aplicar en clima húmedo y no es aplicable a temperaturas menores a 13 °C. Posibles problemas de salud ocupacional por emisiones	Dosificación promedio de 8 a 22% 85.000 a 105.000 unidades/año Nivel de uso podría ser similar al asfalto modificado actual (menor al 5% del total)	ALTO (proceso previo trituración mecánica)	Costo trituración Costo de aplicación aproximadamente 50% mayor que asfalto convencional. (costo actual pquavimento aproximadamente 22 a 40 US\$ /m ²)	Inversión en equipamiento aplicación asfalto caucho US\$ 4,5 MM ⁵⁵
RUMAC uso en asfalto (proceso vía seca)	Mayor durabilidad (20 años) Menores requerimientos de mantención, disminuye deformaciones y grietas, reduce nivel de ruido de circulación. Se ha avanzado en investigación local.	Requiere equipamiento adicional y en algunos casos plantas in situ. El proceso no requiere de operarios calificados pero aumentan los tiempos de proceso. Posibles problemas de salud ocupacional por emisiones. El nivel de uso de caucho se considera bajo	Dosificación promedio 3% 85.000 a 105.000 unidades/año Nivel de uso podría ser similar al asfalto modificado actual (menor al 5% del total)	MEDIO (proceso previo trituración mecánica)	Costo trituración Costo de aplicación aproximadamente 50% mayor que asfalto convencional.	Inversión en equipamiento aplicación < US\$ 4 MM ⁵⁰
Aditivo en hormigones	Apropiado para barreras de choque por mayor potencial de absorción de energía. Adecuado para estructuras. Bajo peso. Puede reprocesarse. No requiere personal especializado.	Producto relativamente nuevo, requiere mayor investigación y aceptación por potenciales usuarios de obras. No se ha avanzado en investigación a nivel local.	Dosis aprox. 3.5 a 8% en peso	BAJO (proceso previo trituración mecánica)	Costo trituración Sin información de costos de fabricación (producto nuevo)	Inversión para equipamiento de mezcla

⁵⁵ incluyendo equipamiento para trituración mecánica (fuente OCADE 2006)

Productos moldeados para uso en superficies deportivas, de juegos, barreras, entre otros	Alta resistencia a impacto, durabilidad, fácil mantención	Mayor costo que alternativas convencionales	Dosis 10 a 18 Kg/m ²	ALTO (proceso previo trituración mecánica)	Costo trituración y costo moldeo	US\$ 4,0 a 4.1 MM ⁵⁶
Otros procesos: Pirolisis, termólisis, devulcanización	Reuso de productos	Lodo residual puede contener metales u otros contaminantes peligrosos		BAJO	Costo trituración y tratamiento	Alto costo inversión (US\$ 5 MM o superior para pirolisis o termólisis), mercado para productos incipiente. Pueden ser alternativas viables en el largo plazo

De acuerdo a la evaluación de las alternativas de valorización de caucho triturado, las que presentan una mejor perspectiva serían los productos moldeados y asfalto caucho, previo uso de sistemas de reducción de tamaño de tipo mecánico a temperatura ambiente.

Otras alternativas analizadas podrían ser viables en un plazo mayor, pues algunas de ellas requieren de mayor investigación para validar su aplicabilidad o aceptación a nivel país, y otras aún presentan costos de inversión altos y un mercado poco claro para los productos que de ellas se generan. Las opciones de valorización que permiten obtener productos de mayor valor agregado incluso podrían sustituir a la opción de coincineración, la que actualmente es una solución efectiva, pero en la práctica representa un costo adicional a las empresas (alrededor de US\$ 80/ton, sólo por procesamiento).

La tabla 2.43 muestra, como ejemplo, un análisis económico simplificado de una planta de trituración (capacidad procesamiento creciente desde 3.000 ton NFU/ año 1 hasta 12.000 ton al año 10), considerando sólo ingresos por venta de caucho (rendimiento 70%)⁵⁷

Tabla 2.43 Ejemplo de evaluación económica simplificada planta de trituración

Costos unitarios producción (US\$/ton)	Precio venta caucho triturado (US\$/ton)	Inversión (US\$)	VAN (MM US\$)	TIR
500	700	2.000.000	2,4	41 %
600	700	2.000.000	0,4	18 %
500	700	3.000.000	1,621	26 %
Evaluación comparativa envío a coincineración en iguales condiciones y considerando sólo costo procesamiento (80 US\$/ton)			-2,57	

Un beneficio adicional que tendría la incorporación de mayores alternativas de valorización de NFU, aparte de minimizar su impacto ambiental actual, es la generación de nuevos puestos de trabajo al instalarse empresas dedicadas a su transformación y posterior utilización.

⁵⁶ incluyendo equipamiento para trituración mecánica (fuente OCADE 2006, proyecto POLA, 2008)

⁵⁷ tasa de descuento utilizada 12%

3. DISCUSION

3.1 Respecto a la generación de NFU y alternativas tecnológicas de valorización

Las tecnologías y aplicaciones que permiten una valorización material y energética del caucho de los neumáticos usados, son numerosas. No es necesario ceñirse a una única opción, y lo más ventajoso es utilizar varias de ellas.

Del análisis realizado las tecnologías potencialmente aplicables son varias, considerando tanto el uso de NFU enteros o su trituración previa. Dentro de las opciones de uso de NFU enteros, coexisten una serie de alternativas de reciclaje en obras de infraestructura, como es el caso de sistemas de contención, debido a las ventajas que presenta su ejecución, puesto que el NFU no requiere ser procesado y es más económico que el material de construcción convencional que sustituiría. Dentro de las opciones de uso de NFU triturado, se vislumbran con una mayor factibilidad la fabricación de productos moldeados y el uso en caucho asfalto.

El caucho asfalto es un producto que podría ser beneficioso en muchos sentidos, principalmente económicos a largo plazo, y de mejoramiento de las propiedades y características del asfalto convencional. Aunque el volumen de caucho triturado que consume esta alternativa sería mediano, su aplicación tiene diversos beneficios como aumentar la resistencia a deformaciones reducir significativamente los costos de mantenimiento, y reducir el nivel de ruido.

Se estima posible recuperar y redireccionar entre un 30 y 40% del total de NFU con vertido desconocido (cerca de 11.500 a 15.000 toneladas), lo cual permitiría aumentar la tasa actual de valorización, luego del recauchaje, desde un 15,6 % actual a más de un 40%, mediante la implementación de un sistema de gestión que involucre tanto la recolección del NFU como su manejo y transformación posterior por empresas valorizadoras, situación que se vislumbra posible en razón a los proyectos que se esperan desarrollar en el corto plazo. La presencia de estos proyectos permite inferir, desde ya, que las condiciones de producción a nivel nacional serían competitivas frente a la alternativa de importar (por ejemplo desde Brasil)

No obstante subsisten algunas barreras relacionadas con un mercado incipiente de los productos de NFU que es necesario desarrollar, y una cantidad efectiva de NFU recuperable limitada para soportar un gran número de empresas valorizadoras interesadas.

3.2 Respecto de una propuesta de sistema de gestión

Para lograr la correcta eliminación de los NFU, muchos países cuentan con legislación específica en la materia y otros, que se encuentran en proceso de desarrollar sistemas de gestión, están en etapa de generar leyes y reglamentos específicos. La principal dificultad que hoy en día presenta Chile, para lograr una buena gestión y valorización de los neumáticos usados, es la falta de una legislación especial para este tipo de residuos, como también a la inexistencia actual de empresas dedicadas al tratamiento y valorización distintas de la coincineración.

Pero, a la par, también se observa una carencia importante de leyes y normativas orientadas a controlar la calidad del neumático que hoy se vende en el mercado. Ambos tipos de regulaciones son claves para poner en marcha un sistema de Gestión Integral del Neumático y del NFU. Por otra parte también falta crear conciencia ambiental y de calidad en los distintos niveles de la cadena de intermediarios y generadores. El concepto rector del futuro sistema debería ser el Principio de la Responsabilidad Extendida del Productor, REP, el cual se aplica en la mayoría de los países evaluados.

La responsabilidad extendida del productor es un intento de protección del ambiente que se centra principalmente ciclo de vida del producto e intenta que fabricantes, distribuidores,

intermediarios, usuarios, y empresas **compartan la responsabilidad** de reducir los impactos que el producto ocasiona al medioambiente.

La responsabilidad extendida del productor reconoce que éste puede asumir nuevas responsabilidades para reducir el impacto medioambiental de sus productos. Sin el compromiso serio del productor, no es posible, como país, hacer progresos significativos en la óptima conservación sustentable de recursos. **Por otra parte, una mejora sustantiva no siempre puede ser lograda exclusivamente por los productores; además de ellos, tanto intermediarios como consumidores, así como las tecnologías de tratamiento existentes, deben concertarse para encontrar la solución más apropiada y rentable.**

El rol motivador de los productores y distribuidores hacia la comunidad puede ser un factor decisivo para el éxito de un sistema de esta naturaleza. Una buena estrategia que aseguraría el suministro de neumáticos, es contar con el compromiso del consumidor. Los consumidores deben hacer compras responsables que consideren los impactos medioambientales. Para ello debe formarse una conciencia nacional en torno al tema de la preservación del medio ambiente, pues son ellos, en última instancia, quienes deben realizar el primer paso para la posterior reutilización de los productos que ellos desechan.

Por lo anterior, el estudio desarrolló una propuesta de sistema de gestión de NFU de carretera (autos, camionetas, buses y camiones), basada en elementos de sistemas que actualmente operan a nivel internacional, pero considerando las singularidades del mercado chileno y considerando iniciar la gestión con los neumáticos que se están generando actualmente y se generarán a futuro. La figura 2.23 muestra la situación actual del flujo de neumáticos y NFU, en tanto la figura 2.24 resume los elementos, roles y nexos principales de la propuesta del futuro Sistema de Gestión de Neumáticos y NFU en Chile.

Se destaca que para que este sistema funcione deben establecerse o crearse algunos elementos que hoy no existen: leyes y regulaciones específicas y la fiscalización necesaria de las mismas, y centros específicos de tratamiento con mayor variedad de opciones de valorización.

Además, deben establecerse a lo menos los siguientes aspectos clave:

Compromiso de los **todos los productores** en el sistema, incentivando a los usuarios de disponer en forma limpia sus NFU, y control (si es posible) sobre los respectivos distribuidores para limitar y eliminar la venta informal de NFU, fomentando el compromiso de entrega al organismo gestor para una correcta disposición.

Compromiso de los **distribuidores** de ofrecer a los clientes el dejar sus neumáticos de recambio y de participar en el proceso de gestión mediante un aviso programado para el retiro de sus NFU, a demás de no fomentar un mercado informal, evitando la venta de neumáticos usados a talleres automotrices o similares.

Compromiso de los **usuarios**, ya sea, personas naturales o jurídicas dejando sus neumáticos en los puntos de venta al momento de realizar sus recambios o en el caso de empresas, de disponer bajo su responsabilidad ambiental de manera limpia estos residuos.

Compromiso **gubernamental** de fiscalizar todo el sistema en su conjunto, para controlar su funcionamiento y evitar prácticas inadecuadas como la venta de neumático dados de baja o usados.

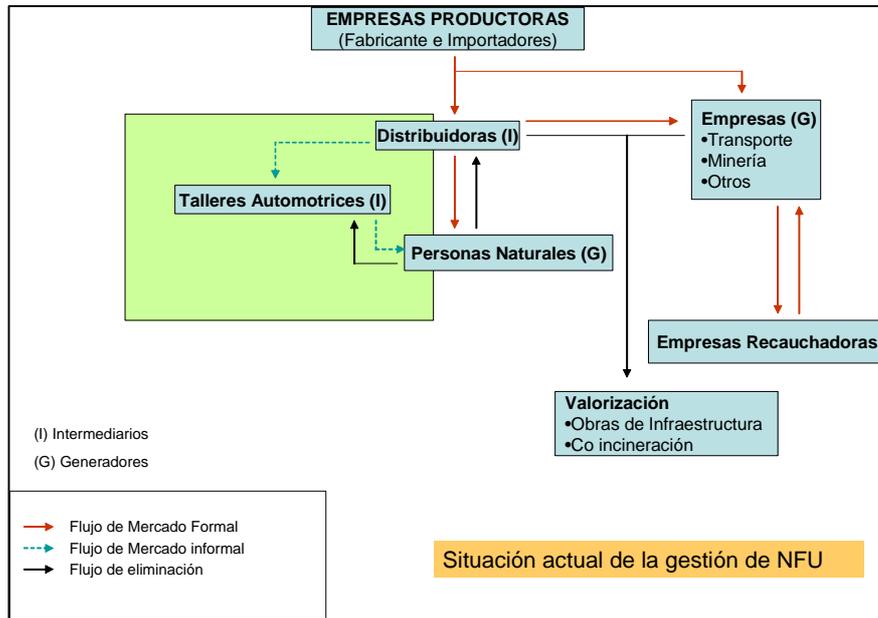


Figura 2.23 flujo actual de Neumáticos y NFU

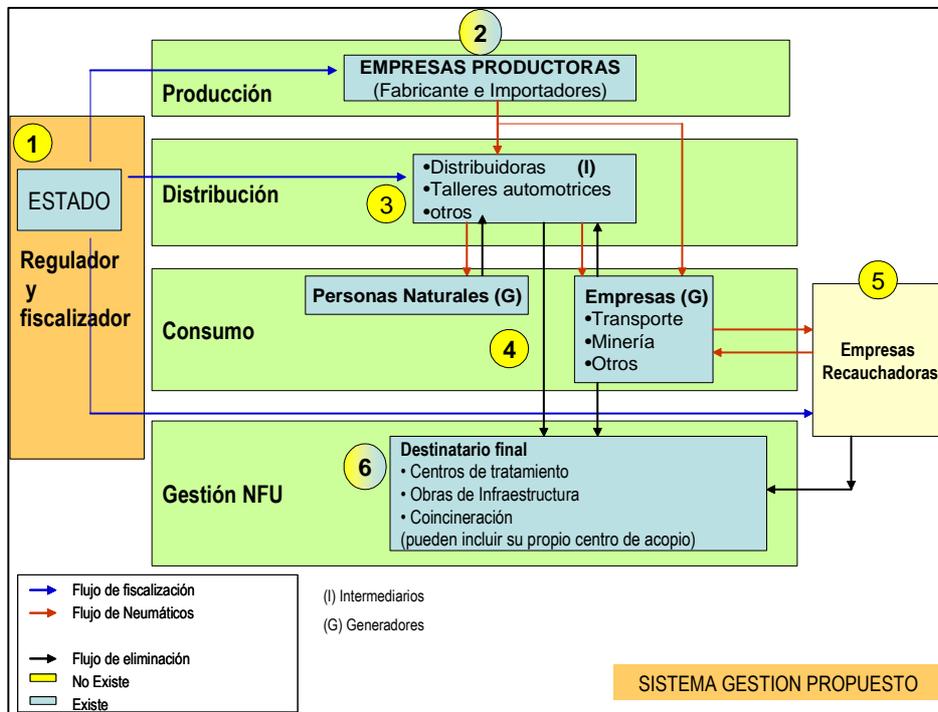


Figura 2.24 Propuesta de Sistema de Gestión de Neumáticos y NFU

Actores del sistema de Gestión y su Rol:

1. ESTADO:

Su Rol será fundamentalmente regulador y fiscalizador, ya que para poner en marcha el sistema de gestión de NFU, el Estado debe generar las necesarias leyes y normativas en dos ámbitos fundamentales, pero separados:

Regulación de NFU: Ley Marco de Residuos y Reglamento de Gestión de NFU

Esta ley debería dar los lineamientos básicos para el tratamiento de residuos en general, bajo un concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), con el fin que, cualquier persona, ya sea natural o jurídica se haga responsable de su producto una vez terminada su vida útil. A partir de la misma y bajo un concepto de gradualidad, se generaría un Reglamento específico para el manejo de NFU (transporte, almacenamiento y tratamiento) que garantice la identificación de lo que ingresa al país y lo que finalmente se dispone. Este Reglamento debería establecer claramente los deberes, derechos y responsabilidades de cada uno y **todos** los actores del sistema de gestión, asegurando igualdad de condiciones.

El organismo regulador para el sistema de gestión de NFU sería CONAMA, en coordinación, al menos, con los Ministerios de Economía, Ministerio de Transporte y Servicio de Aduanas. El rol regulador y fiscalizador sanitario es del Ministerio de Salud y sus SEREMIs.

Regulación de Calidad del producto

Como se ha indicado previamente, existe una importante carencia de regulaciones respecto de la calidad de los neumáticos que hoy día se comercializan en el país. Por ello se hace necesario que, en base a Leyes específicas se establezcan normas para regular la calidad de los neumáticos, actualizando lo ya existente e incluyendo nuevos elementos como los siguientes:

- Norma de Homologación para la Importación de neumáticos: regulará el ingreso de neumáticos al país, asegurando y certificando la calidad del producto para los usuarios (en cuanto a seguridad y duración) bajo estándares internacionales que, además, faciliten su identificación e información de características técnicas al ingreso (transparentando así el mercado y responsabilidades futuras), controlados por una entidad certificadora.
- Norma para regular la venta de neumáticos usados: regulará y establecerá elementos que permitan restringir o prohibir la comercialización de neumáticos usados, para ser reutilizados en medios de transporte motorizado si no existen elementos mínimos de seguridad. Su objetivo será limitar y controlar el actual mercado informal (en talleres automotrices y otros), donde se pueda controlar el estado y estructura del neumático. Deben quedar exentos los neumáticos recauchados certificados.
- Normas de homologación de nuevas tecnologías: cuyo objetivo debe orientarse a actualizar y aplicar las normas de referencia existentes y transformarlas en Ley. Dentro de la misma se deberá considerar la certificación de los neumáticos recauchados y las instalaciones que realicen dicho servicio. A su vez se plantea actualizar la aplicación del redibujado de neumáticos, si las condiciones de fabricación de éstos lo permiten. Cabe mencionar que en este último tema, Chile se encuentra entre los pocos países que prohíben su uso.

El regulador y fiscalizador para la Calidad de los neumáticos es el Ministerio de Transporte y sus SEREMIs, además del Servicio de Aduanas, además del INN, cuando corresponda.

2. PRODUCTORES: FABRICANTE E IMPORTADORES

Los productores de neumáticos⁵⁸ tendrían un rol importante en coordinar la logística de manejo de los NFU, definiendo el rol de distribuidores y talleres, entre otros, para el adecuado manejo de los neumáticos usados; además estarían a cargo de establecer la modalidad de financiamiento del sistema, para lo cual se propone, inicialmente, el cobro de un importe adicional sobre el costo unitario de la venta de neumáticos nuevos⁵⁹, el que se debe detallar de forma explícita en la factura de venta, a fin de cubrir los costos de transporte, almacenamiento y disposición final del residuo. Con esta medida se podrá financiar un organismo gestor de neumáticos fuera de uso, para su posterior valorización en cualquiera de sus formas.

El importe propuesto es, en general, un porcentaje muy bajo del costo del neumático ya que, como dato referencial, se puede indicar que un estudio en Colombia estableció un recargo para NFU de autos del orden de \$ 300/neumático y el valor en España (año 2007) fue cercano a \$ 1000/NFU. No obstante, es importante recalcar que este sistema puede funcionar si y solo si existen las regulaciones necesarias y sistemas de homologación de calidad para que todos los productores actuales, sobretodo los importadores, operen en igualdad de condiciones y de costos.

Por otra parte, tendrían un rol relevante en la educación de los usuarios de neumáticos, a través de campañas de conciencia ambiental acerca de la calidad del producto y la adecuada gestión de los NFU, donde se buscará fomentar que, al momento de recambio del neumático, este se deje en los puntos de venta autorizados para ser retirado por un organismo gestor para su valorización.

3. INTERMEDIARIOS: LOCALES DE DISTRIBUCION Y PUNTOS DE VENTA

Los intermediarios (puntos de venta de locales de distribución y talleres entre otros) cumplen un rol clave para que el sistema de recolección funcione. Ellos deberán ser un nexo entre los usuarios de neumáticos y el organismo que gestione la recolección y valorización final de estos.

Los NFU serán recibidos y almacenados en dichos puntos para posteriormente ser retirados, previo aviso de un stock determinado. Por otro lado deben cumplir un rol de incentivo hacia los usuarios para dejar su neumático usado en el punto de venta.

Otro rol, no menor a los antes señalados, corresponderá a la obligación de no ser parte de un mercado informal de venta de neumáticos usados, específicamente no entregar los neumáticos de recambio a ninguna otra entidad que no sea gestora de NFU, lo cual deberá ser fiscalizado por la entidad correspondiente, apoyado por los productores.

4. CONSUMIDORES Y GENERADORES: USUARIOS DE NEUMATICOS

- **Personas naturales:** Su rol esta dado por las exigencias de calidad y seguridad al comprar un neumático y por el grado de sensibilización ambiental que se pueda lograr en ellos. El usuario deberá exigir que, una vez que se realiza el recambio de neumáticos, estos sean recibidos por los puntos de venta para su posterior disposición final. Por otra parte, también debe exigir que los neumáticos comprados, tengan una garantía de calidad acorde a la legislación.
- **Empresas:** Como usuarios de neumáticos, ellos tendrán la responsabilidad de exigir una disposición final adecuada a sus NFU. Por otra parte, deberán exigir niveles mínimos de calidad para los neumáticos que adquieren, ya sea en forma directa a las empresas productoras, a través de puntos de venta o bien por importación directa. En este último caso se deberán regir por las normativas existentes en materia de calidad.

⁵⁸ se recomienda que el responsable sea el Representante Legal de cada empresa a fin de establecer un adecuado seguimiento cuando existen varias razones sociales distintas.

⁵⁹ el sistema de financiamiento propuesto es preliminar y debe ser analizado con mayor detalle.

Dentro de las empresas, existe un mercado importante de neumáticos recauchados. Para esto deberán exigir a las empresas recauchadoras un certificado de calidad que asegure la excelencia del trabajo, avalado por normativas y la fiscalización respectiva.

Las empresas a su vez, podrán gestionar sus NFU de distintas formas: de común acuerdo con la empresa productora o punto de venta, para la entrega del NFU o bien ingresarlo a un centro de acopio en forma directa.

5. EMPRESAS RECAUCHADORAS

Las empresas recauchadoras pueden ser consideradas un actor adicional del sistema de gestión, ya que no serían consideradas como un valorizador propiamente tal, pues su rol es de aumentar la vida útil del neumático y, por ende, prevenir la generación de NFU en exceso.

Se espera que con las nuevas normativas, la mayoría de este tipo de empresas se encuentre totalmente reguladas y certificadas, asegurando la calidad del neumático recauchado que vuelva al mercado, ya que actualmente del total de empresas de recauchaje, no más de 12 cuentan con certificación⁶⁰, lo cual induce a un menor uso de esta posibilidad de aumento de vida útil actualmente.

Los NFU, generados en este tipo de empresas, podrán entrar de forma directa al sistema o buscar una alternativa en conjunto con productores o puntos de venta para su correcto manejo en destino final.

6. DESTINATARIOS FINALES: CENTROS DE VALORIZACION

Tras un correcto sistema logístico y de transporte, donde se reciban, almacenen y clasifiquen los NFU para su posterior valorización, éstos podrán ser enviados a distintas empresas privadas para aprovecharse en distintos usos, ya sea co-incineración, obras de infraestructura, productos moldeados, asfalto, etc.

Los centros de valorización podrán contar con sus propios centros de acopio, al cual podrán llegar todos los neumáticos que ingresen al mercado mediante la vía legal, es decir, que hayan pagado un importe para la correcta gestión del NFU. Cada centro de valorización deberá certificar el adecuado procesamiento de NFU de cada productor, a fin de apoyar el sistema de control de los NFU efectivamente gestionados y la información hacia las entidades reguladoras y fiscalizadoras, lo que también permitiría validar el ingreso de nuevos neumáticos al país, transparentando el flujo del producto y permitiendo la trazabilidad del mismo.

No obstante es importante recordar que por el momento el número de proyectos que podría desarrollarse es relativamente limitado dados los volúmenes reales de NFU que se generan en Chile. De acuerdo a las estimaciones realizadas podrían operar a lo mas 2 empresas con los niveles de capacidad que actualmente proponen los proyectos en avance (de 9 a 18 mil ton anuales cada uno)

Propuesta para la puesta en marcha del sistema de gestión de NFU

Cualquier sistema de gestión a nivel nacional, debe ser implementado de manera gradual. Por ello se propone realizar su puesta en marcha, inicialmente de manera voluntaria, en la Región Metropolitana, donde se concentra cerca del 40% del parque vehicular del país, por consiguiente, un porcentaje similar en materia de NFU del tipo considerado en el estudio (autos/camionetas, buses y camiones), además de un importante número de los actores que

⁶⁰ Fuente: CINC.

intervendrían (más del 40% de los importadores, incluyendo a los de mayor tamaño, locales de venta, talleres y empresas de recauchaje), además de dos futuros proyectos de valorización.

La implementación del sistema de gestión sería respaldada, en primera instancia, por los grandes productores asociados en CINC, los que por una iniciativa común buscan solución a los NFU generados por el recambio de sus productos. Dado que la generación de normativa necesaria es un proceso que toma algún tiempo, la puesta en marcha se considera de carácter voluntario y, por ende, estaría respaldada por el Consejo de producción Limpia bajo el desarrollo de un Acuerdo de producción Limpia del Sector, el cual permitirá aportar en las directrices y metas que sea necesario cumplir para apoyar, e incluso adelantarse a la normativa.

La Asociación, además, mantiene contacto con empresas valorizadoras con interés de instalarse en la Región y se espera concitar el interés de otros actores públicos y privados para establecer una mesa de negociación que establezca las bases del futuro APL, donde la puesta en marcha del sistema de gestión será parte de las metas principales a lograr.

El proceso pretende abarcar la mayor cantidad de NFU generados anualmente en la Región. Este debe comenzar identificando al organismo encargado del retiro desde los locales de venta de las distribuidoras y empresas, los que por compromiso o común acuerdo los enviarán a una empresa valorizadora para su tratamiento. Los costos de este proceso en primera instancia serán negociados entre las partes interesadas, para luego ser incorporados como costo de proceso de gestión normado por Ley.

El retiro se realizaría, previa definición de un volumen mínimo de neumáticos, con el fin de organizar la logística del retiro, abarcando la mayor cantidad de puntos de venta en la Región asociados al proceso, para su traslado a centros de valorización (por definir) para ser transformados en subproductos, reciclados en infraestructuras o bien ser enviados a Ho-incineración.

PROPUESTA DE ACTORES A INVOLUCRAR (TOTALES RM)

PRODUCTORES

Empresas importadoras y fabricantes: 4 empresas de CINC, mas otras importadoras (mas de 400 Un./año) aproximadamente 40 en la RM (incluyendo las 10 más importantes)

INTERMEDIARIOS

Puntos de venta distribuidoras = 238

Talleres automotrices = 450

RECAUCHADORAS: 18 (12 certificadas)

VALORIZADORES

Coincineradora: 1

Proyectos de tratamiento NFU (uno o dos de la RM)

GENERADORES

Empresas de camiones y buses (asociaciones)

REGULADORES Y FISCALIZADORES

CONAMA

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

Ministerio Obras públicas

Ministerio de Economía

Ministerio de Salud

Seremi Salud RM

Servio de Aduanas

4. APORTES DEL ESTUDIO A LOS INDICADORES DEL PROYECTO

El objetivo del Proyecto fondo de Reformas es introducir la REP de manera paulatina en el país, con el fin de poder aprobar su factibilidad económica, social y ambiental, mediante la introducción de la REP en forma voluntaria en sectores productivos y, en paralelo, la creación de legislación referente a la REP que se incorpore en el marco jurídico respecto de la gestión de Residuos. Bajo este marco de acción el aporte del estudio a los indicadores del proyecto se focalizó en los siguientes elementos:

- Tasa de generación de NFU.
- Identificación de alternativas tecnológicas de valorización de NFU con mayor viabilidad de implementación en el corto y mediano plazo.
- Identificación de los actores que actualmente interactúan en la cadena de distribución y comercialización de neumáticos y, por tanto, en la generación de NFU, tanto formales como informales.
- Identificación de aspectos clave que requieren ser regulados.
- Propuesta de sistema de gestión con actores y roles, así como acciones a desarrollar en el corto y mediano plazo, en forma voluntaria por las empresas del sector de la industria del neumático considerando el uso del instrumento APL, a fin de generar directrices para la operatoria del Sistema de Gestión bajo los conceptos de Responsabilidad Extendida del Productor y Gradualidad.
- Propuesta de puesta en marcha del sistema de Gestión en la RM (mayor concentración de NFU), como una de las metas del APL con el fin de validarlo para luego ampliar a regiones.

BIBLIOGRAFIA

AVILA N. 2005. Emulsiones asfálticas no convencionales modificadas con caucho reciclado. Memoria para otra al Título de Ingeniero Constructor. Universidad Tecnológica Metropolitana.

BARROS A. 2006. O uso de pneus picados como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitario. www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/include.

CANO E; 2007. *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso*. Madrid: Elecé Industria Grafica.

CEDEX. 2007. Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas. Centro de Estudios y Experimentación Obras Públicas España.

CONAMA 2005. Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

HERBERT, F. (1996). Manual McGraw- Hill de Reciclaje. Ed. McGraw-hill/ interamericana de España.

ELIAS X. 2000. Reciclaje de Residuos industriales. Aplicación a la fabricación de materiales para la construcción. Ed. Diaz de Santos. España

GOBIERNO DE ARAGÓN.2006. Plan Gira, Programa de Neumáticos fuera de uso. Serie Cuadernos del Observatorio de Medioambiente.

HERVAS R.2000. Capitulo IX. Los neumáticos fuera de uso, disponible en:http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/educacion_ambiental/EducamIV/publicacion/es/rua09.pdf.

INE (instituto Nacional de Estadística), Anuarios parque vehicular 2000- 2007

INTI 2006. RECICLADO Y DISPOSICIÓN FINAL DE NEUMÁTICOS. Publicación "SABER COMO" - <http://www.inti.gov.ar>

Luján J. 2005 contaminación ambiental y posibles daños a la salud causados por la quema de neumáticos en la vía pública Argentina (www.utn.edu.ar/download.aspx?idFile=4691)

MAGAZINE WASTE. Reciclaje de neumáticos <http://waste.ideal.es/neumaticos.htm>.

MÉXICO. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Diario Oficial de la federación, 8 de Octubre de 2003. DOF 19 de Junio 2007.

MINISTERIO MEDIO AMBIENTE España. 2003. Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España de fabricación de cemento

MUÑOZ G. Laboratorio Nacional de Vialidad MOP. 2006. Empleo de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas mediante el proceso por vía seca y comparación con el proceso por vía húmeda.

OCADE 2006. Diagnóstico ambiental de manejo de llantas y baterías en Bogota. Secretaria de Ambiente Colombia

OSAVA M. 2004. CRECE EL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS. <http://www.tierramerica.net/2003/0414/noticias3.shtml>

PLAN GIRA: El programa de... Neumáticos Fuera de Uso. Edit.: Observatorio del Medio Ambiente. Aragón, España, 2006.

PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (PNIR) 2007-2015, Anexo IV. Aragón, España, 2007.

PLAN NACIONAL DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (PNNFU) 2001-2006. Madrid, 8 de octubre de 2001.

QUEZADA D. 2001. Utilización de neumáticos desechados como combustible alternativo en fábricas de cemento. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Talca.

RAMIREZ N. 2006. Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en Mezclas Asfálticas en Caliente mediante proceso seco. Memoria PARA optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

RAMOS A, 1997. Curso de Cemento: Combustibles Alternativos, Ediciones Holderbank.

REAL DECRETO 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. España. BOE num.2, Martes 3 de Enero 2006.

UNEP/CHW.9/18, 11April 2008". "Revised Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Used Tyres.

SIDDIQUE R. 2008 Properties of concrete containing scrap tire rubber – an overview www.sciencedirect.com

WITOZEK B. 2004 Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firmede hormigón de caucho VI Congreso Nacional de firmes España

Bibliografía web

www.asrm.cl pagina del Seremi Salud

www.fundellantas.org página Fundación manejo NFU en Costa Rica

www.aduana.cl página Servicio Nacional Aduanas