



CIRCULO DE INNOVACION EN MATERIALES TECNOLOGÍA
AEROSPAECIAL Y NANOTECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
PARQUE CIENTÍFICO DE LEGANÉS

VALORIZACIÓN MATERIAL Y ENERGÉTICA DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO ACTUALIZACIÓN

Elaborado por: Encarnación Cano Serrano
Lidia Cerezo García
Marina Urbina Fraile

Junio de 2008



Universidad
Carlos III de Madrid



Acción
Innovadora

Este informe de Vigilancia Tecnológica ha sido cofinanciado con Fondos FEDER y se ha realizado dentro del marco del Contrato Programa suscrito entre la Dirección General de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid y la Universidad Carlos III de Madrid, con la colaboración del Parque Científico de Leganés que gestiona el Círculo de Innovación en Materiales, Tecnología Aeroespacial y Nanotecnología.

Los autores agradecen los consejos, comentarios y colaboración ofrecida durante la elaboración de este informe a:

D. Andrés Macho. Consejero Técnico de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente;

D. Pedro Espinosa. Secretario General de la Asociación Española de Neumáticos Reciclados.

D. Javier de Jesús. Director Operativo de Tratamiento Neumáticos Usados, S.L.

Departamento de Comunicación de TNU

Y agradecen en especial a las personas que han revisado y corregido de manera desinteresada el manuscrito original:

D. Juan Antonio Tejela. Director Comercial de Renecal.

D. José Sánchez. Tratamiento Neumáticos Usados TNU.

D. Jose Manuel Berenguer. Jefe del Laboratorio de Control de Calidad, I+D+i. Aglomerados Los Serranos S.A.

D. Artemio Cuenca. Jefe de Laboratorio de Carreteras. Consejería de Infraestructuras y Transportes de la Generalitat Valenciana en Alicante.

INDICE

<u>CAPÍTULO 1. RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	<u>2</u>
<u>CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN</u>	<u>5</u>
2.1 CLASIFICACIÓN DE CAUCHOS	7
2.2 LOS NEUMÁTICOS USADOS	9
<u>CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA VALORIZACIÓN MATERIAL Y ENERGÉTICA DE LOS NFU</u>	<u>11</u>
3.1 RECAUCHUTADO	12
3.2 TRATAMIENTOS MECÁNICOS	15
3.3 TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO	15
3.4 TECNOLOGÍAS DE REGENERACIÓN	18
3.5 PIRÓLISIS-TERMÓLISIS	20
<u>CAPÍTULO 4. APLICACIONES</u>	<u>23</u>
4.1 VALORIZACIÓN MATERIAL	23
4.2 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	30
<u>CAPÍTULO 5. ASPECTOS DE MERCADO</u>	<u>34</u>
5.1 GESTIÓN DE LOS NEUMÁTICOS USADOS	34
5.2 EMPRESAS NACIONALES	36
<u>CAPÍTULO 6. METODOLOGÍA EMPLEADA, SENTENCIAS Y ANÁLISIS DE LAS BÚSQUEDAS</u>	<u>42</u>
<u>CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFIA</u>	<u>45</u>
<u>CAPÍTULO 8. ANEXOS</u>	<u>49</u>
<u>ANEXO I. LEGISLACIÓN: ÁMBITO EUROPEO Y ESTATAL</u>	<u>49</u>
<u>ANEXO II. PROYECTOS I+D</u>	<u>53</u>
<u>ANEXO III. PATENTES</u>	<u>57</u>
<u>ANEXO IV. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>71</u>
<u>ANEXO V. TESIS DOCTORALES OAISTER</u>	<u>72</u>

CAPÍTULO 1. Resumen y conclusiones

Los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos.

La legislación prohíbe el vertido de neumáticos usados enteros a partir de julio de 2003, y de neumáticos usados troceados a partir de julio de 2006. Para asegurar la correcta gestión de estos residuos se aprobó el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (PNNFU) 2001-2006.

En el año 2008 se redacta el II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2008-2015 (II PNFU) como revisión del PNNFU 2001-2006, donde se establecen nuevos objetivos ecológicos para la gestión de los neumáticos fuera de uso.

La gestión alternativa al depósito en vertedero puede seguir tres posibles vías:

- Recauchutado de NFU, por el que se aprovecha la carcasa metálica del neumático.
- Tratamiento de NFU destinado a su reciclado para la obtención de materias primas utilizadas en otros procesos de producción industrial.
- Valorización de los neumáticos fuera de uso para la generación de energía.

La correcta gestión de los NFU que se generan en todo el territorio nacional corresponde actualmente a dos Sistemas Integrados de Gestión: SIGNUS Ecovalor y Tratamiento Neumáticos Usados (TNU). Ambos Sistemas son sociedades sin ánimo de lucro, creadas al amparo del Real Decreto 1619/2005. Su objetivo final es prevenir la generación de neumáticos fuera de uso, fomentar su reducción, reutilización, reciclado y valorización.

En el año 2006 el Círculo de Innovación en Materiales, Tecnología Aeroespacial y Nanotecnología (CIMTAN), elaboró un informe de Vigilancia Tecnológica (VT) que fue publicado dentro de la colección de informes VT codirigida por la Fundación para el Conocimiento madri+d y el CEIM. El informe analizaba el estado de la técnica de las tecnologías y aplicaciones para la recuperación, el reciclaje y la valorización en general de los neumáticos usados, informando sobre las posibles vías para valorizar los neumáticos fuera de uso.

Con el fin de poner al día la información del trabajo de 2006, el CIMTAN realiza una actualización del informe de Vigilancia Tecnológica anterior, examinando la actividad científica e inventiva entre los años 2006 y 2008. El nuevo documento aporta además información actualizada sobre empresas nacionales, sociedades y asociaciones cuyas actividades están relacionadas con los neumáticos fuera de uso (NFU).

Ambos informes recogen así mismo datos sobre las distintas tecnologías empleadas para la valorización material y energética de los neumáticos fuera de uso: recauchutado; tratamientos mecánicos para triturar el residuo; tecnologías de reducción de tamaño; tecnologías de

regeneración; pirólisis, indicando que para valorizar los neumáticos usados se privilegiaran los procedimientos que permiten reciclar directamente los materiales y en consecuencia usar con moderación los recursos naturales.

Para la **valorización material** de los NFU se han identificado aplicaciones como la utilización de neumáticos enteros en arrecifes, la utilización de neumáticos triturados como material de relleno en campos de hierba artificial o su inclusión en materiales bituminosos. En este último caso, se utiliza el polvo de neumáticos usados en aplicaciones en la red vial a través de betunes modificados siguiendo diferentes vías: húmeda y seca.

A este respecto el “Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas” establece recomendaciones sobre el empleo de los materiales obtenidos en la trituración fina del caucho procedente de NFU en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente para carreteras.

Es importante mencionar que las Administraciones Públicas fomentarán el uso del polvo de caucho en obras públicas y en particular en las mezclas bituminosas para la construcción de carreteras, siempre que sea técnica y económicamente posible.

Se han identificado otras aplicaciones de los neumáticos fuera de uso por las que se conseguiría eliminar una gran cantidad de residuos de neumático y además se lograría **valorizarlos energéticamente**. Entre estas aplicaciones puede destacarse: su utilización como combustible de sustitución, siempre que se respeten las disposiciones ambientales, su aprovechamiento energético, o la obtención de productos pirolíticos.

Según datos de 2005 el 14.9 % del total de los neumáticos fuera de uso generados fue recauchutado, el 13.58 % fue reciclado y el 16.56 % corresponde a valorización energética. Si tenemos en cuenta los objetivos cuantitativos establecidos en la versión preliminar del PNIR 2008-2015, para el año 2015 el porcentaje de neumáticos recauchutados deberá aumentar hasta un 20 %, se reciclará un 55 % (de los cuales el 45 % del caucho se empleará en mezclas bituminosas) y el 20 % será para valorización energética.

El documento concluye que las tecnologías y aplicaciones que permiten valorizar material y energéticamente el caucho y los neumáticos usados son numerosas y no es necesario ceñirse a una única. Lo más ventajoso es utilizar varias de ellas para reducir lo más posible las grandes cantidades de neumáticos que se producen y que en estas últimas décadas se han ido acumulando.

La **valorización energética** es una de las posibilidades que actualmente se manejan para eliminar o reducir la cantidad de neumáticos usados y al mismo tiempo limitar el consumo de combustibles fósiles. Los neumáticos usados triturados, se emplearían como combustible alternativo, por ejemplo en los hornos de cementeras, mejorando la competitividad de éstas ya que los neumáticos usados son menos costosos que el fuel. La pirólisis presenta más reticencias

en su comercialización debido al coste de la instalación necesaria. Una salida interesante podría ser el empleo de industrias mixtas formadas por cementera (u otro proceso) y pirólisis, de esta manera se ahorrarían costes, empleando los aceites pirolíticos como combustible (de elevado poder calorífico) y el negro de carbono para fabricación de elementos que no requieran elevadas características técnicas.

Con respecto a la **valorización material**, se concluye que es factible eliminar la mayor parte de los neumáticos que se desechan empleándolos en carreteras. Esta eliminación puede hacerse sin más inversiones que las necesarias para la trituración de neumáticos y ambas vías de utilización, seca y húmeda, pueden aportar ventajas importantes a la carretera desde el punto de vista técnico. La eliminación a través de la carretera no tiene ningún riesgo posible de contaminación, siendo sin duda un procedimiento ecológico.

CAPÍTULO 2. Introducción

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso. Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica –que dificulta su extinción en caso de incendio- y no es degradable. Estas y otras características, constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule teniendo en cuenta esas particularidades propias.

Es cierto que en principio los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras -son resistentes al ozono, la luz y las bacterias- lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su almacenamiento en el vertedero no permite recuperar ni energía ni materia.

Los neumáticos enteros son flexibles y por su forma y tamaño limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables, son refugio ideal de insectos y roedores, y además acumulan gases y lixiviados, frecuentes en los basureros.

En 1999, la Unión Europea adoptó la **Directiva 1999/31/CE**¹ relativa al vertido de residuos. Su objetivo era establecer medidas para impedir o reducir los efectos negativos en el medio ambiente del vertido de residuos. Esta Directiva se transpuso al derecho interno español a través del **Real Decreto 1481/2001**.² Este Decreto establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Asimismo establece que no se admitirían en ningún vertedero los neumáticos usados enteros a partir del 16 de julio de 2003, y neumáticos usados troceados a partir del 16 de julio de 2006.

En el año 2000, los estados miembros adoptaron la **Directiva 2000/53/CE**,³ que establece medidas para prevenir los residuos procedentes de vehículos y propone el reciclado y la reutilización como formas de valorizar los vehículos y sus componentes al final de su vida útil.

En 2001 se aprobó el **Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006**,⁴ en el que se preveía la elaboración y aprobación de un esquema económico para asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU. En 2005 se aprueba el **Real Decreto 1619/2005**,⁵ sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Este Decreto constituye la culminación de un proceso tendente a optimizar la gestión de los NFU y atribuye la responsabilidad básica de dicha gestión a los responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos nuevos, ya sean fabricantes, importadores o adquirentes en otro Estado de la UE.

El II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2008-2015 (II PNFU), Anexo 4 del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 Versión Preliminar⁶ se redacta como revisión

del Plan Nacional (2001-2006). En esta revisión se tienen en cuenta, además, los requisitos establecidos en el Real Decreto 1619/2005.

En el *Anexo I* de este informe pueden encontrarse los contenidos básicos de este Real Decreto, así como los objetivos cualitativos y cuantitativos del II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2008-2015.

La gestión alternativa al depósito en vertedero puede seguir tres posibles vías:⁶

1. Recauchutado de NFU.
2. Tratamiento de NFU destinado a su reciclado para la obtención de materias primas utilizadas en otros procesos de producción industrial.
3. Valorización de los NFU para la generación de energía.

En el año 2004 España generó 305.718 toneladas de NFU de las cuales se recicló el 13.9 %, el 12.2 % se destinó a recauchutado, el 17.2 % a valorización energética, el 6.4 % se exportó y reutilizó. El 50.3 % se depositó en vertederos, cifra muy superior al 15 % vertido por la UE (Europa de los 15).

2.1 Clasificación de cauchos

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar mucho si son sometidos a tensiones mecánicas, volviendo a sus dimensiones originales (o casi) cuando las tensiones cesan. A continuación, se esquematizan los diferentes tipos de cauchos.

Tabla 1. Tipos de elastómeros.

Elastómeros	Cauchos naturales	
	Cauchos sintéticos	Estireno-butadieno (SBR)
		Polibutadieno (BR)
		Isopreno
		Etileno-propileno(EPM-EPDM)
		Isobutileno-isopreno (IIR)
		Cauchos de nitrilo (NBR)
		Policloropreno (neopreno)
		Cauchos fluorados (CFM-FKM)
		Cauchos de silicona (Q)
Termoplásticos		

El **Caucho natural (*cis-poliisopreno*)**, se extrae comercialmente a partir del látex del árbol *Hevea brasiliensis*, que se cultiva en plantaciones de regiones tropicales del sudeste asiático. 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, sales inorgánicas además de otros componentes.⁷

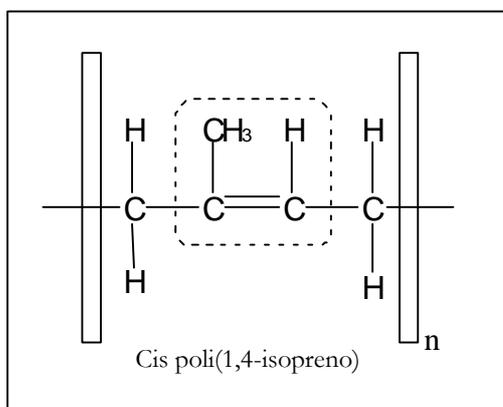


Figura 1. Unidad estructural repetitiva del caucho natural⁷

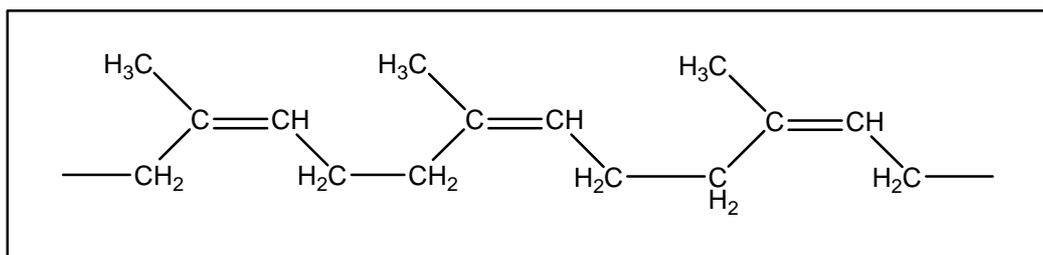


Figura 2. Segmento de una cadena de polímero de caucho natural⁷

Según W.F. Smith:⁷ “La vulcanización es el proceso químico por el cual las moléculas del polímero se unen unas a otras con enlaces cruzados para dar moléculas más voluminosas que restringen el movimiento molecular”.

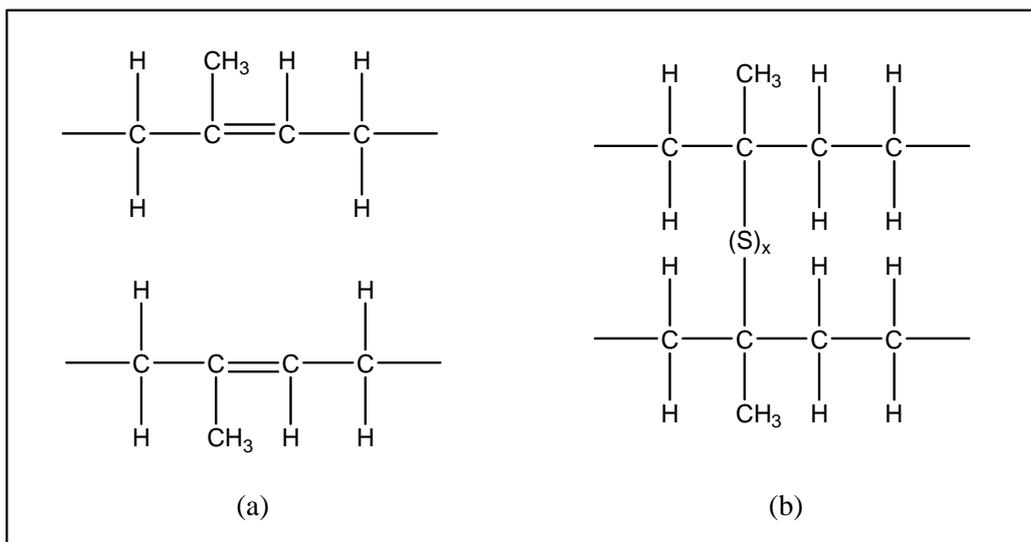


Figura 3. Ilustración esquemática de la vulcanización del caucho. En este proceso átomos de azufre entrecruzan las cadenas de cis poli(1,4-isopreno). (a) Cadena de cis poli(1,4-isopreno) antes del entrecruzamiento (b) Después del entrecruzamiento con azufre o derivados de azufre abriendo los dobles enlaces del esqueleto polimérico.⁷

La utilización de materiales de relleno puede reducir el coste del caucho como producto y aumentar considerablemente su resistencia. El **negro de carbono** se utiliza como material de relleno para el caucho. Generalmente, cuanto más pequeño es el tamaño de las partículas de negro de carbono, mayor es su dureza, su resistencia mecánica y su resistencia a la abrasión.

2.2 Los neumáticos usados

Los neumáticos son estructuras toroidales muy complejas elaboradas con más de 200 componentes, si bien están compuestos básicamente por cauchos naturales y sintéticos, cargas reforzantes (negros de carbono y sílices), antioxidantes, materiales metálicos, textiles y otros ingredientes necesarios para el proceso de vulcanización del caucho.⁸ Las proporciones de estos componentes pueden diferir en función del fabricante y del tipo de neumático, aunque en general se aproximan a las que figuran en la tabla 2.

Tabla 2. Composición ponderal aproximada de los neumáticos de turismo y camión en la UE⁹

Material	Turismo	Camión
Caucho	48	45
Negro de carbono y sílice	22	22
Metal	15	25
Textil	5	-
Oxido de Zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	5

Tabla 3. Composición química de los neumáticos usados (Fuente OFEFP).¹⁰

Elemento/Compuesto	Contenido	Unidad
C	70	%
Fe	16	%
H	7	%
O	4	%
Oxido de Zn	1	%
S	1	%
N ₂	0.5	%
Ácido esteárico	0.3	%
Halógenos	0.1	%
Ligandos cupríferos	200	mg/Kg
Cd	10	mg/Kg
Cr	90	mg/Kg
Ni	80	mg/Kg
Pb	50	mg/Kg

A continuación se muestran los datos de la evolución de la gestión de los NFU en España entre los años 1998 y 2005.

Tabla 4. Evolución de la gestión de los NFU en España en cifras (1998-2005)⁶

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Exportación %	1.5	1.87	2.74	2.28	4.51	4.39	6.46	4.97
Recauchutado%	13.62	10.81	12.87	13.94	13.99	14.14	12.16	14.90
Material reciclado %	0.41	1.43	1.51	1.44	7.81	9.52	13.90	13.58
Valorización energética %	3.32	4.51	7.54	6.13	9.97	12.28	17.17	16.56
Vertido %	81.15	81.38	75.34	76.21	63.72	59.67	50.30	50.00
Total generados %	100							

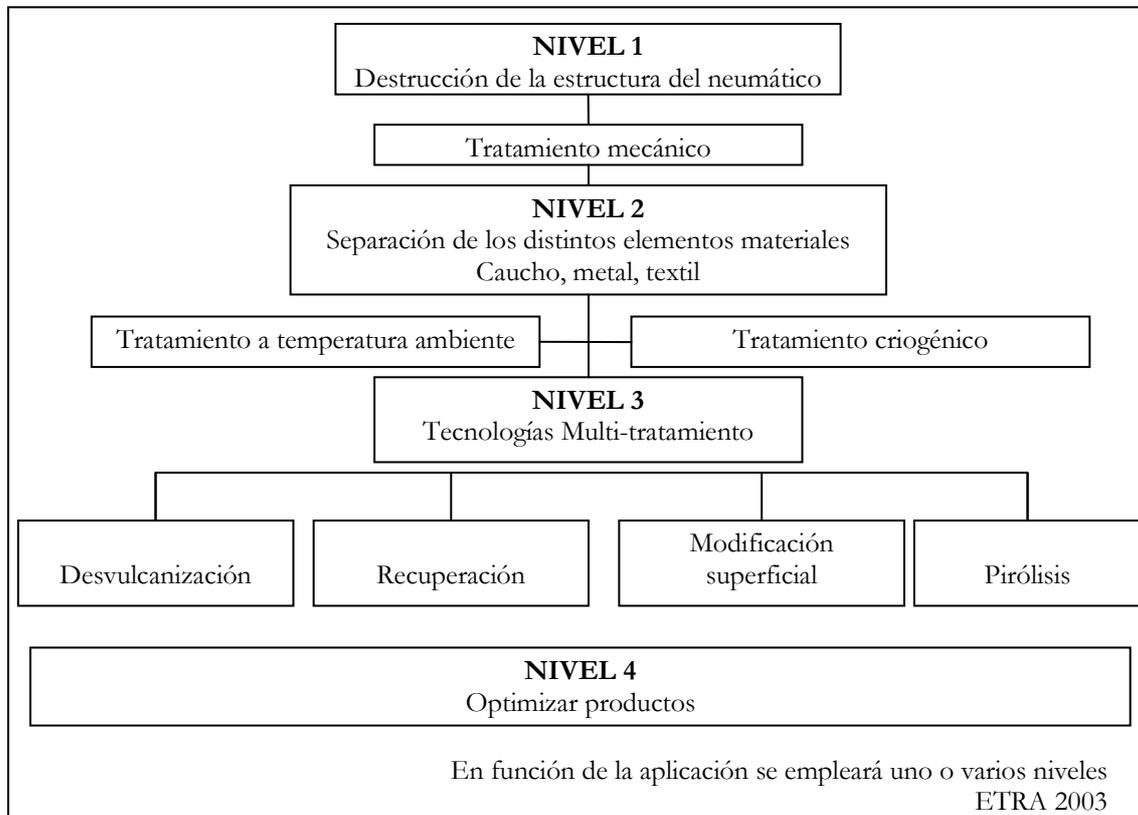
Fuente: SIGNUS Ecovalor

CAPÍTULO 3. Tecnologías utilizadas para la valorización material y energética de los NFU

Las tecnologías empleadas para la valorización material y energética de los neumáticos fuera de uso son varias, se pueden distinguir las siguientes:

- **Recauchutado:** proceso mediante el cual se vuelve a utilizar un neumático gastado sustituyéndole la banda de rodadura.
- **Tratamientos Mecánicos:** proceso mecánico mediante el cual los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran fabricación de balas, troceado (*ripping*), trituración (*cutting*).
- **Tecnologías de reducción de tamaño:** se distingue entre el realizado a temperatura ambiente, criogénico y húmedo.
- **Tecnologías de Regeneración:** desvulcanización, recuperación del caucho (*reclaiming*), modificación superficial, modificación biológica.
- **Otras tecnologías:** Pirólisis-Termólisis

Figura 4. Niveles de tratamiento¹¹



En la Figura 4 se clasifican las diferentes tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento. Es interesante resaltar que dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar se empleará un nivel, varios o todos los niveles.

3.1 Recauchutado

El renovado (recauchutado) del neumático es un proceso mediante el cual se vuelve a utilizar un neumático gastado sustituyéndole la banda de rodadura.¹²

El recauchutado se presenta como el recurso más eficaz para la recuperación de neumáticos con ahorro de material y energía.¹³ Se requiere más energía para fabricar un neumático nuevo que para recauchutar un neumático usado.¹⁴

Hay dos técnicas diferentes de producción de un neumático renovado:¹²

- Renovado en caliente: en este proceso la vulcanización se realiza en prensas con moldes a una temperatura comprendida entre 150 °C y 160 °C. Existe el renovado integral, donde se renueva la banda de rodadura y los flancos (de talón a talón) y el renovado semi-integral, donde se renueva la banda de rodadura y parte del flanco.

- Renovado en frío: en este proceso la banda de rodadura está previamente vulcanizada y se adhiere mediante una goma (llamada “de unión”), vulcanizándose en autoclaves a una temperatura entre 98 °C y 125 °C:

- Renovado de banda clásico: la banda se fabrica en tiras longitudinales de unos 10 metros, que se cortan a la medida de la circunferencia del neumático.

- Renovado de banda en anillo: la banda se fabrica formando ya el anillo a la medida final de forma que no hay uniones.



Figura 5. Fuente: INSA TURBO

El proceso de renovado, ya sea en caliente o en frío, se divide en los siguientes pasos:¹²

▫ Inspección de carcasas: el objetivo primario de esta inspección es el de seleccionar carcasas para renovar que están libres de defectos de fabricación, sin daños no reparables, sin edad excesiva, y rechazar las carcasas que no puedan soportar otro ciclo de vida.

▫ Raspado: el objetivo del raspado es el de eliminar suficiente caucho de la superficie de la carcasa, dejando una textura adecuada para el agarre y dando la forma adecuada para el diseño de banda de rodadura que se le va a colocar. Este proceso se realiza mediante una maquina de control numérico que va “cepillando” progresivamente la carcasa hasta alcanzar las dimensiones y formas predefinidas.



Figura 6. Detalle de carcasa a medio raspar.

Fuente: INSA TURBO

▫ Saneado y reparación: para daños más profundos hay que sanear o reparar. El proceso de saneado se realiza con una maquina manual en el punto exacto donde se aprecia un desperfecto, alcanzando, si es preciso, la primera capa de alambres. Se debe eliminar cualquier rastro de oxido existente en esta capa.

▫ Difuminado y rellenado: el proceso de recauchutado se basa en la unión de una goma vulcanizada con otra sin vulcanizar. Se debe difuminar sobre la carcasa goma diluida en disolvente para proteger el acero, que ha quedado expuesto a la intemperie durante el saneado y reparación, frente a la oxidación. Una vez difuminada la rueda se procede a rellenar los cráteres realizados sobre la superficie de la banda de rodadura con una goma de unión.

El siguiente proceso dependerá del tipo de vulcanización en frío o en caliente.

▫ **Colocación de banda de frío:** se adhiere la banda de rodadura con la carcasa mediante la goma de unión (capa de unos 2 milímetros de grosor de alta adherencia).

▫ **Vulcanización en frío:** para el vulcanizado en frío se utiliza un autoclave (horno) que trabaja entre 98 y 125 °C. El neumático se introduce dentro de un “envelope” que es un envoltorio diseñado para crear una diferencia de presión entre la banda de rodadura precurada y la superficie raspada de la carcasa. Esta presión junto con la temperatura adecuada durante el tiempo necesario creará la adhesión de la carcasa y de la banda de rodadura. Una vez finalizado el proceso la goma de unión habrá vulcanizado uniendo entre sí la banda precurada y la carcasa.

▫ **Colocación de banda de rodadura en caliente:** Si el proceso de vulcanizado es en caliente, después del difuminado y rellenado de la carcasa se ha de colocar la goma “cruda” en la

carcasa. Para ello se utiliza una extrusionadora orbital de goma. La extrusionadora es una máquina automática que a partir de un perfil inicial de carcasa y un perfil final deseado, es capaz de ir colocando goma sobre la carcasa hasta cubrir toda la superficie necesaria. Después de colocar la goma de rodadura se procede a colocar la goma de flanco, sobre la que quedará marcada la dimensión, modelo y marca del neumático así como toda la información de obligado cumplimiento.

▫ **Vulcanización en caliente:** es un proceso de curación en molde de círculo completo. El molde está compuesto por un aro de aluminio segmentado en seis piezas, para marcar el dibujo de la banda de rodadura, junto a dos platos, uno para cada flanco, que marcan los datos del costado. Una vez montado el molde en la prensa estos son calentados hasta una temperatura de entre 150 y 160 °C. Este calentamiento se realiza mediante vapor saturado. Cuando el molde tiene la temperatura adecuada de trabajo se introduce la carcasa en el interior de la prensa, se cierra el



Figura 7. Vulcanizado.

Fuente: INSA-TURBO

▫ Inspección final: tras revisar que el neumático recauchutado no tiene ningún defecto, se pintan los talones y se da por finalizado el proceso.

molde y mediante aire a presión se ajusta la carcasa al molde, de forma que el molde marca todo el dibujo sobre la goma. Una vez el molde está cerrado y la carcasa presionándolo, se mantiene esa presión y temperatura durante el tiempo necesario para el total vulcanizado de la goma.



Figura 8

Fuente: INSA-TURBO

3.2 Tratamientos Mecánicos

Muchas de las posibles aplicaciones de los NFU exigen una trituración previa hasta un grado de molienda adecuado al fin que se le vaya a dar. Este proceso se realiza a través de trituradoras formadas por dos o más ejes paralelos de cuchillas que giran a distintas velocidades para favorecer la incorporación del neumático. La separación de los ejes define el tamaño de los trozos conseguidos. La utilización de este tipo de trituradoras es un paso previo a la molienda y en los vertederos o centros de recogida para disminuir el volumen de los neumáticos.¹⁵

3.3 Tecnologías de reducción de tamaño

Algunos de los procesos más empleados para producir polvo de caucho son: la molienda mecánica a temperatura ambiente, la molienda criogénica y la molienda húmeda.

Existen estudios diversos relacionados con la mejora de las propiedades de distintas mezclas con polvo de neumático: polietileno/polvo de neumático,¹⁶ SBR/polvo de caucho;¹⁷ granos de caucho de neumático/hormigón;^{18,19} granos de caucho/pasta de cemento.^{20,21}

Un tema muy sensible es el impacto medioambiental del polvo de los neumáticos, tanto el procedente del reciclado como el generado en el uso normal del neumático (debris), que se traduce en el lixiviado del ZnO. A continuación se muestran varios estudios relacionados con este tema presentados en la conferencia anual de la ETRA en el año 2005:²²

- *Universidad italiana de Milano Bicocca.* Estudio sobre el lixiviado de Zn en condiciones estáticas y dinámicas entre pH ácido y neutro. En condiciones estáticas se encontró que a pH 3 (condiciones de lluvia ácida) se alcanzaba el máximo en el lixiviado, observándose una caída lineal proporcional al pH, siendo menor para pH 7.
- *Instituto de Investigación del caucho de Polonia.* Proyecto para evaluar el efecto de la cantidad y el grado de ZnO de un granulado de caucho en el lixiviado obtenido. Se observó que el grado de ZnO empleado no tuvo repercusión, pero el área de la partícula y el área superficial del gránulo tuvieron una influencia substancial: menos Zn a mayor tamaño y menor área.
- *Sociedad Química Checa.* A partir de un potente activador de la vulcanización con azufre del caucho natural permitió reducir el nivel de ZnO en la formulación. Este compuesto, Lovamid KTP, es un derivado de 3-dimetilaminopropilamida de ácidos grasos de aceite de coco.

3.3.1 Molienda a temperatura ambiente

La molienda a temperatura ambiente se suele llevar a cabo en un molino de dos rollos tipo “cracker”, donde los rollos contienen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho. Son molinos clásicos constituidos por un rotor y el estator que lo rodea. Previamente a la molienda es necesario separar el componente metálico para evitar daños al molino, se hace normalmente con separadores magnéticos dispuestos sobre las cintas. Para eliminar la parte textil se suele emplear cintas o bandejas vibratorias que originan el apelmazamiento de las fibras, que después se separan por tamizado u otros dispositivos.²³

El proceso a temperatura ambiente normalmente envuelve las siguientes actividades: separación del metal, separación de la fibra, reducción a polvo grueso, reducción a polvo ultra fino, empaquetado y pesado. El equipamiento empleado se puede dividir en 8 grupos: cuchillas gruesas/afiladas, granuladores primarios y secundarios, raspadores, molinos cracker primarios y secundarios, rodillos de acabado y micro rodillos. La distribución y tamaño de la partícula del polvo depende del número de veces que se pasa el polvo por el rodillo y del tipo de rodillo empleado.²³

Para una óptima valorización es necesario realizar diferentes ensayos en el momento de la recepción de los neumáticos en la planta de tratamiento: control de peso, selección de tipos, característica, composición, etc. así como separar aquellos que se puedan valorizar para el recauchutado.²⁴

La primera fase consiste en trocear los neumáticos a un tamaño de 10x10 cm, aproximadamente. En la siguiente fase se reduce el tamaño de los trozos a 2.5 cm, mediante máquinas en cascada que separan el acero (mediante imanes), las piedras y la tierra (mediante mesas densimétricas), y la fibra. Para la fabricación del polvo de goma (tamaños inferiores a 1.5 mm) el neumático troceado se hace pasar por un grupo de máquinas que realizan la molienda por fricción, la criba y la separación del resto de impurezas metálicas.²⁴

Estas instalaciones necesitan mucha potencia y tienen un fuerte desgaste de cuchillas de corte, cilindros y platos de garras, que requieren mantenimiento continuo y de coste elevado.²⁴

3.3.2 Molienda criogénica

A muy bajas temperaturas (-200°C) el caucho se fragiliza desapareciendo su elasticidad característica siendo posible, por tanto, desintegrarlo fácilmente.

El proceso de molienda criogénica viene acompañado por un primer paso de enfriamiento de las piezas de caucho con nitrógeno líquido. Este proceso produce la congelación de las piezas. Las piezas congeladas pasan por un molino de impacto (similar a un percutor o martillo) donde son molidos en elementos más finos que 1 mesh (número de mallas medidas en una longitud de 25.4 mm). El polvo obtenido se seca, se separan la fibra y el metal y se clasifica según los tamaños obtenidos.²³

La forma, tamaño, distribución de tamaños y características superficiales de las partículas de caucho molidas obtenidas por molienda criogénica son diferentes a las obtenidas por molienda a temperatura ambiente. Éstas últimas tienden a tener una forma irregular con una considerable rugosidad superficial y el caucho es parcialmente oxidado en la superficie debido al calor generado durante el proceso. Sin embargo, las partículas del polvo obtenidas por molienda criogénica a una temperatura por debajo de -70° C presentan una superficie relativamente suave, un amplio rango de tamaño de partícula así como una mínima oxidación superficial. Estas diferencias en la naturaleza y reactividad pueden producir diferentes propiedades en el producto final.²³

Las cifras de consumo de la molienda criogénica respecto de la mecánica son similares (para una planta de 35.000 toneladas/año consumiría 400Kw/h), o ligeramente inferiores, sin embargo hay que añadirle el gasto de nitrógeno, se estima en 0.5-0.9 Kg. /Kg. caucho molido (con finuras que van desde 40 mesh a 100/110 mesh).²⁵ Es decir, la molienda criogénica presenta un coste capital más bajo pero un coste de operatividad mayor debido al elevado precio del nitrógeno líquido y a la fase adicional de secado requerida para eliminar la humedad.²³

3.3.3 Molienda húmeda

No se ha escrito demasiado acerca de este tipo de molienda. El procedimiento seguido normalmente consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo. Después de este proceso se separa el agua del polvo y se seca.²³

3.4 Tecnologías de regeneración

3.4.1 Desvulcanización

En las publicaciones que aparecen a partir de los años 80 el foco de interés cambia de la recuperación a la alteración natural de la superficie del caucho, mediante el uso de ligantes y la desvulcanización superficial.

Se han encontrado 94 artículos en la base de datos *Current Contents* entre los años 2000 y 2006 que versan sobre el proceso de desvulcanización. Como grupos principales de investigación destacan la Universidad de Akron (Ohio) y el Instituto Tecnológico de la India.

Entre los años 2006 y 2008 se han encontrado 35 artículos sobre desvulcanización. En este caso destaca nuevamente como grupo de investigación la Universidad de Akron. En segundo lugar destaca la Universidad de Sichuan (China).

A continuación se desarrollan diferentes procesos de desvulcanización:

- **Desvulcanización química:** se emplean agentes químicos que rompen los enlaces para eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. Un estudio realizado por M. Kojima et al.²⁶ emplea CO₂ supercrítico (en presencia de disulfuro de difenilo como reactivo) para la desvulcanización del caucho natural vulcanizado con varios contenidos de negro de carbono. En el campo de la desvulcanización microbiana Bredberg et al. encontraron que el hongo más efectivo para la desvulcanización del caucho fue “*Resinicium bicolor*”.²⁷
- **Desvulcanización térmica:** calentamiento del polvo de caucho a una elevada temperatura sin la presencia de agentes químicos. El proceso es empleado en los primeros métodos de recuperación y solamente es viable con el caucho natural.²⁸ También se incluye la desvulcanización por microondas donde el movimiento de las moléculas provocado por la energía de microondas eleva la temperatura del polvo provocando la rotura del enlace químico entrecruzado. Un ajuste fino de esta energía de microondas puede conseguir romper los enlaces S-S y C-S pero no C-C.²³
- **Desvulcanización mecánica:** existe un proceso patentado²⁹ que emplea aleaciones Fe-Co para reducir mediante catálisis la densidad de entrecruzamientos de cloropreno y EPDM (caucho etileno-propileno), con un porcentaje de desvulcanización del 43%. Pero los componentes obtenidos presentan peores propiedades que el componente original.³⁰
- **Desvulcanización químico-mecánica:** se aplica una fuerza a cortadura mecánica (molienda,..) sobre el polvo de caucho. De esta forma, se pueden producir radicales en la cadena principal a la cual se añaden agentes químicos (dioles, disulfuro,..) que reaccionan

con estos radicales evitando su recombinación y, al mismo tiempo, los entrecruzamientos se abren y la viscosidad se reduce.³¹

- **Desvulcanización termo-mecánica:** se emplean extrusoras que calientan el polvo.³² Un estudio realizado por Kostanski et al.³³ emplea una extrusora durante un corto periodo de tiempo produciendo una masa viscosa que es mezclada con el compuesto virgen. El estudio describe un aumento de la fracción sólida y una disminución sustancial del número medio de entrecruzamientos.
- **Desvulcanización termo-química:** es un proceso básicamente de recuperación pero no emplea bases o ácidos normalizados. Se lleva a cabo en un autoclave en seco o con vapor. Las temperaturas empleadas se encuentran en un rango de 150-190°C durante un tiempo dado, después del cual se extrae la masa ablandada y se lamina en un molino de 2 rollos.³⁴
- **Desvulcanización ultrasónica:** este proceso continuo permite reciclar el caucho en ausencia de agentes químicos. Las ondas ultrasónicas pueden romper el enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho produciendo la desvulcanización, con alguna degradación de la cadena principal, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. La consecuencia más deseable del proceso es que el caucho tratado por ultrasonidos se pueda reprocesar y revulcanizar de manera similar a los elastómeros no vulcanizados. Un grupo de investigación de la Universidad de Akron³⁵ estudió la desvulcanización ultrasónica del caucho butílico en una extrusora a 120°C y con velocidad del tornillo de 50 rpm. Se observó que las propiedades mecánicas del caucho revulcanizado dependían de las condiciones de procesamiento durante la desvulcanización (comparando con el caucho virgen se obtuvo 86% en resistencia a tensión y 71% en deformación a la rotura). Otros estudios investigan las propiedades de distintas mezclas: dEPDM (monómero dieno-etileno-propileno desvulcanizado por ultrasonidos) con vEPDM (monómero dieno-etileno-propileno natural),³⁶ dSBR (copolímero butadieno-estireno desvulcanizado por ultrasonidos) con PS (poliestireno);³⁷ y desvulcanización ultrasónica continua del neumático molido mediante el empleo de dos reactores³⁸ (reactor coaxial donde la desvulcanización se produce a la salida de la extrusora y reactor de cañón).

3.4.2 Recuperación (reclaiming)

El interés en el proceso de recuperación del caucho data de mediados de 1.800 a raíz de la patente publicada por Charles Goodyear sobre la vulcanización del caucho con azufre. El objetivo original de la recuperación del caucho vulcanizado es romper los entrecruzamientos, para permitir reutilizar los componentes de caucho. Esta ruptura de los enlaces se puede producir mediante rotura del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre (desvulcanización) o mediante el fraccionamiento de las cadenas del polímero (despolimerización). El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural, la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos, particularmente SBR (caucho de estireno-butadieno).²³

La recuperación consiste en dos técnicas:²³

- El caucho es troceado en piezas y molido en partículas finas (polvo).
- El polvo es sometido a un calentamiento en presencia de agentes químicos, seguido de una molienda intensiva por fricción.

M.E. Martínez³⁹ establece un procedimiento de recuperación (sin adición de agentes químicos) en un proceso de corte mecánico a una temperatura determinada para el caucho butílico, empleado en la cámara de aire del neumático de camión. El proceso consigue una rotura selectiva del entrecruzamiento químico tridimensional del azufre y una recuperación del butilo de alta calidad (sus propiedades no difieren mucho del caucho original); también recupera el caucho natural procedente de neumáticos de camión. El autor establece que los procesos de regeneración dan lugar a un fuerte decrecimiento de la densidad de entrecruzamientos y una mejora de la fracción soluble, lo que produce la ruptura combinada de enlaces de azufre y cadenas poliméricas. El estudio concluye que una óptima elección de la materia prima y las condiciones de proceso, puede conducir a un grado más efectivo de desvulcanización y consecuentemente, una mejora de las propiedades físicas del material obtenido en la recuperación.

3.5 Pirólisis-Termólisis

En el proceso de pirólisis (calentamiento a temperatura moderada en ausencia de oxígeno) la parte orgánica volátil del neumático se descompone en gases y líquidos y los componentes inorgánicos, principalmente acero y negro de carbono no volátil, permanecen como residuo sólido.⁴⁰ Los gases pirolíticos están compuestos principalmente por metano, butenos y butanos junto con otros hidrocarburos ligeros, también contienen en baja proporción CO, CO₂, y H₂S, y

tienen un gran poder calorífico ($68-84\text{MJm}^{-3}$).⁴¹ Los sólidos pirolíticos (de iguales dimensiones que el original) se desintegran fácilmente en polvo de carbono, cordones de acero y filamentos.⁴⁰

Los productos obtenidos mediante pirólisis y sus características dependen de la fuente de alimentación, las condiciones experimentales y las características específicas del sistema empleado (tamaño y tipo de reactor, eficiencia de la transferencia de calor, tiempo de permanencia,...).⁴⁰

Un grupo de la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao⁴⁰ estudió la caracterización del líquido pirolítico obtenido a temperaturas de $300-700^{\circ}\text{C}$ en atmósfera de nitrógeno, en un autoclave, durante 30 min., obteniéndose que la temperatura no afectaba a la composición de los aceites. Bajo las mismas condiciones y a 500°C ⁴² se obtienen gases pirolíticos muy ricos en hidrocarburos con baja proporción de H_2S y elevado poder calorífico (83.9MJm^{-3}).

A.M. Mastral et al.⁴³ estudiaron la influencia de las principales variables de proceso (temperatura, tiempo y presión) en la hidroconversión del neumático mediante un reactor TB (tubing bomb reactors). Encontraron que a elevada temperatura no mejoraba la conversión total del caucho pero decrecía el rendimiento a aceite (47% a 375°C y 42% a 425°C). Se observó la misma tendencia para tiempos largos de reacción.

A. A. Yousefi et al.⁴⁴ estudiaron el efecto del aceite pirolítico de los neumáticos usados sobre las propiedades del asfalto modificado con polietileno reciclado. Los resultados mostraron que se mejoraban las prestaciones del asfalto a moderadas y altas temperaturas.

Algunos autores han estudiado la cinética de la pirólisis de neumáticos mediante técnicas basadas en termogravimetrías TG/DTG.^{45,46,47,48} Estos estudios permiten identificar los diferentes tipos de caucho en el neumático, basándose en los resultados de su descomposición térmica. No obstante, la mayoría de estos estudios se aproximan a una cinética de la descomposición del caucho (desvolatilización) sin establecer los esquemas cinéticos para la formación de productos secundarios.⁴⁹

En la tabla 5 se presenta un resumen de las distintas tecnologías explicadas, con las principales ventajas y desventajas de cada una.

Tabla 5. Resumen de las tecnologías empleadas para la valorización material y energética de los NFU.

Tecnología	Características	Ventajas	Desventajas
Tratamientos mecánicos	Trituración previa de los NFU para reducir el tamaño.	-Permite la reducción del volumen, importante en vertederos. -Facilita la molienda u otras técnicas.	-No existen muchos estudios para mejora de la técnica.
Tecnologías de reducción de tamaño	-Molienda a temperatura ambiente (mecánica) -Molienda criogénica (enfriamiento del caucho mediante N ₂) -Molienda húmeda (por chorro de agua)	-Consigue reducir a tamaños que van desde 500mm a inferiores de 500µm. -Molienda criogénica permite partículas de menor tamaño, superficie más suave y menor oxidación superficial. -Muy empleada.	-Lixiviado de ZnO -Molienda a T.A.: Coste elevado por la necesidad de un mantenimiento continuo de la maquinaria Mayor sensibilidad a los agentes atmosféricos. -Molienda criogénica: Coste adicional por precio del N ₂ y fase adicional de secado.
Tecnologías de regeneración	-Desvulcanización: rotura selectiva del enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho vulcanizado. -Recuperación: de caucho vulcanizado mediante desvulc. o despolimerización.	-Consigue una descomposición de los componentes del neumático. -Permite reutilizar los componentes de caucho de los NFU para la fabricación de distintos elementos.	-Caucho obtenido con propiedades físicas inferiores al original. -Importante una óptima elección de la materia prima y condiciones de proceso.
Pirólisis	Calentamiento del granulado de NFU a temperatura moderada en ausencia de oxígeno.	-Descomposición de los componentes del neumático. -Gases pirolíticos tienen elevado poder calorífico. -Negro de carbono se puede reutilizar para fabricación de nuevos elementos. -Negro pirolítico para coloración y absorbente luz UV.	-Problemática con la aplicación de los aceites condensables obtenidos. -Características de los productos depende de las condiciones del proceso. Importante un ajuste de los parámetros.

CAPÍTULO 4. Aplicaciones

4.1 Valorización Material

La gestión más limpia y en la que deben centrar sus esfuerzos las Administraciones Públicas, es el reciclado de material. Las materias primas que se obtienen a través de los distintos tratamientos son principalmente:⁶

- Caucho, granulado o polvo
- Acero, utilizado en acerías
- Compuestos textiles, actualmente no tienen aplicación específica.

El caucho es un compuesto utilizado en numerosas aplicaciones, bien de manera individual o combinado con otros materiales. Ejemplos de aplicaciones del caucho son: en las mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras, en pavimentos deportivos y de seguridad, en hierba artificial, como aislante acústico y antivibratorio, en pistas de atletismo, en la industria del calzado o industria automovilística. En la tabla 6 se muestra la granulometría y porcentaje de NFU reciclados según la aplicación.

Tabla 6. Granulometría y porcentaje de NFU reciclados, por aplicaciones. Fuentes: II PNFU⁶

Aplicaciones	Granulometría del caucho utilizado	Porcentaje
Bases elásticas en pavimentos deportivos	1.5-5.0 mm	13.4
Campos de hierba artificial	0.5-2.0 mm	60.0
Pavimentos multiuso	1.5-4.0 mm	1.3
Suelos de seguridad	1.5-4.0 mm	11.3
Aislamientos acústicos y contra ruido de impacto	0.5-1.5 mm	3.3
Pistas de atletismo	1.5-4.0 mm	5.0
Industrias del caucho y asfaltos modificados	0.0-0.4 mm	5.7
Total mercado		100

En el informe de vigilancia tecnológica “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso” se mostraron algunos ejemplos de aplicaciones, tecnologías y propiedades de los productos según la Norma Europea prEN14243-2005 (“End-of-life-tyre-Recycling-Materials”).¹¹

Actualmente la norma prEN14243 está en revisión.

4.1.2 Aplicaciones de los neumáticos enteros:

~ **Arrecifes artificiales:** se espera que los neumáticos usados en la creación de arrecifes artificiales puedan perdurar más de 30 años.¹¹ Los neumáticos sumergidos en agua marina se encuentran en un medio estable químicamente y protegidos de la radiación ultravioleta, lo que limita la cantidad de lixiviados contaminantes.⁵⁰

~ **Macizos de suelo reforzado:** los NFU agrupados en sistemas de tipo geomalla permiten la formación de macizos de suelo reforzado mediante la interposición de capas superpuestas de neumáticos enteros rellenos de material granular compactado. Las estructuras neumático-suelo muestran propiedades mecánicas superiores a los suelos de origen y pueden presentar diferentes aplicaciones específicas: como muros de sostenimiento de tierras, muros de estabilización en pie de taludes, muros antierosión en márgenes de cauces fluviales, rellenos ligeros en terraplenes.⁵⁰

~ **Balas de neumáticos:** las balas prismáticas de 1 tonelada de peso se fabrican con prensas hidráulicas, que compactan entre 100 y 125 neumáticos por unidad. Las dimensiones habituales son 75 cm. 150cm×135 cm. Son una buena alternativa a los gaviones metálicos en la construcción de estructuras de contención y presas. Se han utilizado con éxito en la estabilización de márgenes fluviales degradados por la erosión del agua.⁵⁰

~ **Barreras acústicas:** los neumáticos constituyen la base de la estructura y se recubren con tierra, de esta forma no les afecta la luz. Como la estructura es inmóvil, el desgaste del material es mínimo.¹¹

~ **Pistas provisionales:** para la circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, etc.¹⁵

4.1.3 Aplicaciones de los neumáticos triturados:

▫ **Pistas de atletismo:** los gránulos de caucho procedentes de NFU son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos, que podemos clasificarlos en revestimientos realizados “in situ”, mixtos y prefabricados, atendiendo a su puesta en obra, que a su vez pueden ser compactos o multicapas si el tipo de mezclas que lo componen es homogéneo o compuesto por capas de distintas calidades. En la construcción de una pista de atletismo se emplean aproximadamente de setenta a ochenta toneladas de gránulos de caucho, según el sistema que se instale y la superficie de la pista, siendo las partículas de caucho de un tamaño comprendido entre 1 y 4 mm.⁵¹

▫ **Pistas multiuso:** las características generales que deben cumplir todos los pavimentos deportivos son elasticidad, resistencia al deslizamiento y durabilidad. La elasticidad permite que el pavimento juegue un papel importante absorbiendo parte de la energía que el deportista transmite en sus impactos con el pavimento evitando así lesiones en sus articulaciones y en sus caídas. Las capas elásticas de mejor calidad se fabrican con gránulos de caucho procedentes de la trituración de neumáticos usados, utilizando generalmente como aglomerante una resina de poliuretano, se fabrican en distintos espesores a pie de obra o se suministran prefabricadas en forma de rollos. La capa final de acabado debe garantizar la correcta estabilidad del deportista en contacto con el pavimento así como el bote de la pelota por lo que la textura y calidad de ésta capa varía en función de distintos factores como son, la ubicación de la pista, en interior o al aire libre y el tipo de deporte.⁵¹

▫ **Campos de hierba artificial:** la hierba artificial consiste en una moqueta cuyas fibras sintéticas, de polietileno en su gran mayoría, imitan a la hierba natural, las fibras tienen una altura que varía de 50 a 60 mm, y están lubricadas para evitar quemaduras ante la posible caída de los jugadores. Como material de relleno se utilizan gránulos de caucho sueltos procedentes de neumáticos fuera de uso de un tamaño comprendido entre 0,5 y 2,0 mm combinados con arena de sílice, que por su mayor peso específico se sitúa en el fondo de la moqueta sirviendo de lastre del sistema.

Esta moqueta que se presenta generalmente en rollos de 5 m de anchura, se coloca flotante sobre una infraestructura flexible acabada en aglomerado asfáltico preferentemente. Entre la base asfáltica y la moqueta opcionalmente se coloca una base elástica a base de gránulos de caucho también procedentes de neumáticos fuera de uso de tamaños de 2,0 a 7,0 mm aglomerados con poliuretano de unos 20 a 30 mm de espesor para dotar a la superficie de una elasticidad adicional.

Como referencia en un campo de fútbol con base elástica de dimensiones reglamentarias puede llegar a consumir 140 TN de caucho de NFU de gránulos de distintos tamaños, para obtener estas cantidades de caucho es necesario reciclar el equivalente a 36000 neumáticos de turismo.⁵²

▫ **Pavimentos de seguridad:** se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano.⁵¹

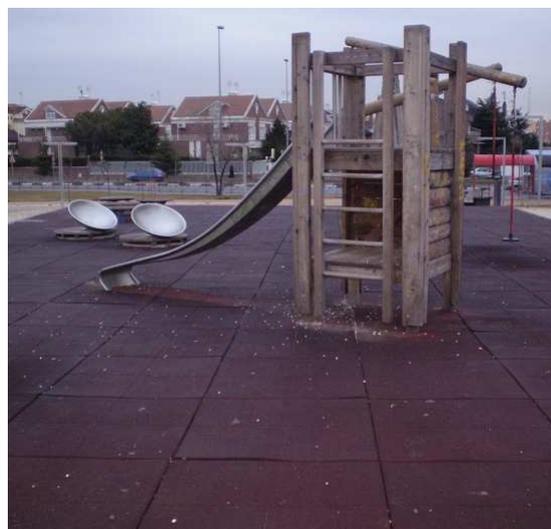


Figura 9. Fuente: CIMTAN

▫ **Rellenos ligeros:** empleados como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales. Pueden realizar también mezclas de suelo o material granular con neumáticos troceados en aquellas situaciones donde la necesidad de una menor compresibilidad del relleno compense el aumento de peso frente al uso de neumáticos troceados en exclusiva. Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura. En zonas con problemas de inestabilidad, su baja densidad y suficiente resistencia al corte permite su empleo para la formación de taludes o bermas. Resulta un material especialmente adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de sostenimiento...)⁵⁰

▫ **Aislamiento acústico:** el caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas antirruído en carreteras. Los NFU troceados, así como enteros o embalados, han sido utilizados como material de relleno de terraplenes longitudinales utilizados como barreras antirruído. Paneles de caucho granulados, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.⁵⁰

- **Aislamiento térmico:** se puede considerar que los neumáticos troceados presentan una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo. La utilización de rellenos de NFU en terraplenes de carreteras proporciona una protección eficaz frente a la penetración de la helada en el suelo subyacente. El problema de la pérdida de capacidad portante de los suelos durante el deshielo primaveral es un factor primordial de diseño de carreteras en zonas frías.⁵⁰
- **Capa de drenaje en vertederos:** para la recogida de lixiviados se establece la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0.5 m. Esta capa requiere una permeabilidad superior a 10^{-3} m/s y los rellenos de NFU troceados superan este requisito (10^{-2} - 10^{-1}). Este material también es utilizado como relleno de las zanjas o pozos de drenaje de recolección, protegido de la contaminación mediante una envuelta geotextil.⁵⁰
- **Sistemas de drenaje en carreteras:** se emplean los NFUs troceados como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras, las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías. Las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas, impidiendo la congelación del agua contenida en él.⁵⁰
- **Equipamientos viales y ferroviarios:** se han utilizado productos reciclados en equipamientos viales prefabricados (bordillos, badenes, isletas, bandas sonoras, conos de señalización, barreras de seguridad, quitamiedos, etc.). En los equipamientos ferroviarios destaca la utilización de losetas flexibles en pasos a nivel. Existen también algunas experiencias en la fabricación de traviesas compuestas.⁵⁰
- **Calzado:** las suelas de los zapatos fabricadas con polvo o granulado son muy duraderas.¹¹
- **Colchonetas para animales:** recubiertas por 2 capas de tela sintética la cual protege al granulado contra los rayos ultravioleta. La capa interior es impermeable y puede lavarse y desinfectarse fácilmente.¹¹

4.1.4 Aplicaciones en materiales bituminosos

Según el II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2008-2015 (6.3.a) las Administraciones Públicas fomentarán el uso del polvo de caucho procedente del reciclado de NFU como material constituyente de diversos productos, fundamentalmente en las obras públicas y en particular, en las mezclas bituminosas para la construcción de carreteras, siempre que sea técnica y económicamente posible. Se ha estimado que la apertura de este mercado de carreteras al caucho, podría dar salida al 40 % de los NFU generados.⁶

El “**Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas**”⁸ pretende recoger el estado del arte en cuanto a conocimientos y experiencias de nuestro país en este

campo, para ayudar a los técnicos y Administraciones responsables de carreteras a utilizar adecuadamente este material. El objetivo del Manual es establecer recomendaciones sobre el empleo de los materiales obtenidos en la trituración fina del caucho procedente de neumáticos fuera de uso (polvo de caucho de NFU) en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente para carreteras. Se presentan también criterios para la selección y uso del polvo de caucho y para la dosificación, fabricación, puesta en obra y control de calidad de las unidades de obra correspondientes.

La incorporación de polvo de caucho a una mezcla bituminosa modifica sus propiedades reológicas y mejora sus prestaciones como material para carreteras.⁸ Actualmente son posibles dos métodos de incorporación del polvo de caucho procedente de NFU:

- “vía húmeda”: el polvo de NFU se incorpora al betún asfáltico previamente a su introducción en la amasadora de la central de fabricación de la mezcla bituminosa en caliente, obteniéndose un betún modificado o mejorado por el caucho. La forma de fabricar este ligante puede ser mediante la utilización de una planta de fabricación de betunes modificados o bien mediante una instalación in situ ubicada en la planta de fabricación de la mezcla bituminosa, entre el depósito de betún y la amasadora de la mezcla bituminosa.⁵³

El Manual define tres clases de ligantes que incorporan polvo de caucho: “betún mejorado con caucho (BC)”, “betún modificado con caucho (BMC)” y “betún modificado de alta viscosidad con caucho (BMAVC)”.

Los betunes mejorados con caucho presentan características empíricas mejores que las de los betunes asfálticos y el porcentaje de polvo de caucho suele estar comprendido entre un 8 y 12 %. Los betunes modificados con caucho presentan propiedades empíricas similares a las de los betunes modificados con polímeros y la cantidad de polvo de caucho es generalmente mayor del 12 % e inferior al 15 %. Finalmente los betunes modificados de alta viscosidad con caucho se fabrican con una mayor proporción de polvo de caucho (generalmente entre 15-22%).⁸

- “vía seca”: consiste en introducir el polvo procedente de NFU directamente en la amasadora de la central de fabricación de la mezcla bituminosa, como si de un polvo mineral se tratara.⁵³ El polvo de caucho actúa en parte como árido, pero las partículas más finas interaccionan con el betún modificando sus propiedades, consiguiéndose así mejorar el comportamiento de la mezcla bituminosa.⁸

En el proceso por vía seca pueden diferenciarse dos técnicas, según el tamaño máximo del polvo de caucho. La primera utiliza tamaños máximos elevados, de hasta 2 mm y en la

segunda técnica se emplea polvo de caucho de menor tamaño (todo pasa por el tamiz 0.5 mm) y en menor



proporción.⁸

Figura 10. Fuente: Aglomerados Los Serranos, S.A.

Ambas vías suponen ahorro de materias primas en origen, ya que polímeros y agregados quedan, al menos parcialmente, sustituidos por los triturados de caucho.¹⁵

La eliminación de neumáticos fuera de uso a través de la carretera no tiene ningún riesgo posible de contaminación, siendo sin duda un procedimiento ecológico.¹⁵

En la tabla 7 se muestran algunos ejemplos de tramos con mezclas bituminosas con polvo de caucho desarrollados en España tanto por vía húmeda como por vía seca.

Tabla 7. Ejemplos de tramos con mezclas bituminosas con polvo de caucho (diciembre 2005).⁸

Tramo	Año	Longitud (km)
Tramos realizados por “vía húmeda” con betún fabricado en central de betunes		
M-300: Alcalá-Arganda del Rey	1996	0.330
M-221 y M-222: Valdaracete a Brea de Tajo	2002	12
Travesía de Badarán (La Rioja)	2004	0.7
A-6: Tordesillas	2005	0.8
Tramos realizados por “vía húmeda” fabricando el ligante en el lugar de empleo		
A-372 y A-372: Ubrique-El Bosque	2002	16
S-444: Revilla de Camargo-Puente Arce	2004	7.7
Za-611: Toro-Venialbo	2004	4
N-610: Becilla de Valderaduey-Benavente	2005	1.5
Tramos realizados por “vía seca” en Catalunya		
Vacarisses	1994	2.6
B-140 Sabadell-Mollet	1997	0.83
Otros tramos realizados por “vía seca”		
Ayuntamientos de Alicante, Altea, Elche, Murcia, Orihuela y Torrevieja (varios tramos)	1998 a 2005	65
N-332: Favara	2004	2
Carretera de Castraz	2004	1.5

4.2 Valorización Energética

En ocasiones el caucho usado puede ser utilizado como combustible.⁵⁴ Los neumáticos contienen más de un 90% de materia orgánica y poseen un valor calorífico superior al del carbón.⁵⁵

El tratamiento térmico de neumáticos usados se subdivide en general en combustión (incineración), gasificación y pirólisis y presenta ventajas tales como:⁵⁶

- La posible reducción del volumen de NFUs en más del 90%
- Producción de una energía neta con posible recuperación material
- Es un procedimiento en teoría no contaminante y capaz de destruir la mayor parte de las sustancias orgánicas que pueden ser perjudiciales para el medioambiente y para el ser humano.

El proceso conlleva problemas asociados como:⁵⁶

- Los depósitos de cenizas: las sales de plomo y cadmio utilizadas como estabilizadores en la producción de neumáticos quedan como cenizas, causando problemas de eliminación.
- Gases tóxicos: cuando los neumáticos se queman se generan algunos gases como SO₂, H₂S, HCl, HCN, etc. se requerían tratamientos adicionales para una gestión correcta.
- Hollín: una quema insuficiente del material de desecho produce hollín, que en general requiere una mayor combustión y temperaturas de llama más elevadas.
- Necesidad de incineradoras apropiadas.

La combustión de los residuos de neumáticos sería una manera sencilla de eliminar el residuo y generar energía, pero las emisiones producidas (dioxinas, compuestos aromáticos policíclicos etc...) no hacen que esto sea posible desde un punto de vista medioambiental.⁴³ Sin embargo, procesos térmicos como la pirólisis pueden ser una buena alternativa a los procesos de combustión directa, ya que no se producen emisiones incontroladas y se logra recuperar productos sólidos y líquidos.^{57,58,59,60}

La valorización energética representó en Europa en 2006 más del 34% de las soluciones escogidas para gestionar los NFU comparadas con el 14% en 1992.⁶¹

4.2.1 Producción de combustible:

La utilización como combustible trata de aprovechar la energía térmica que produce la combustión de la goma de los neumáticos usados. Los NFUs pueden representar una alternativa a los combustibles tradicionales, pueden presentar valores energéticos similares al carbón pero con menores porcentajes de azufre. Una tonelada de neumáticos equivale a 1 tonelada de carbón de buena calidad ó a 0.7 toneladas de crudo.⁶¹

Los NFUs pueden utilizarse como combustible en:⁶¹

- Centrales eléctricas sin necesidad de modificar la instalación.
- Cementeras: los neumáticos troceados son utilizados como combustible alternativo en los hornos de las cementeras. Esta aplicación permite reutilizar todos los componentes del neumático. Los componentes combustibles del neumático se incineran para generar calor y otras sustancias del neumático como sílice y aceros son utilizados como materias primas precursoras para la producción de cemento, reemplazando recursos naturales como vidrio y óxidos férricos.

Según datos de la ETRma,⁶¹ (European Tyre & Rubber Manufacturers' Association) antigua BLIC (Bureau de Liaison des Industries du Caoutchouc) la industria del cemento tiene capacidad para recuperar materialmente en torno a un 25% de NFUs. En Europa existen entre 250 y 300 cementeras que podrían potencialmente utilizar el equivalente a la cantidad total de

neumáticos usados generados anualmente. Pero esta aplicación requeriría algunas modificaciones mecánicas de la planta.

4.2.2 Aprovechamiento energético por gasificación:

En el Seminario sobre Innovación en el Aprovechamiento de NFU⁶² en el año 2000 el grupo Guascor explicó los pormenores de una tecnología para el reciclaje de los neumáticos fuera de uso a partir de una valorización energética.

La gasificación⁶² es un proceso termoquímico de descomposición de la materia orgánica en un ambiente caracterizado por un déficit de aire respecto al estequiométrico necesario para realizar la combustión completa de la misma. Es un proceso a 600°C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua).

En el tratamiento de NFU vía gasificación se obtienen 2 fases; una sólida (mezcla de negro de carbono (25% en peso del total de NFU) y acero (12% en peso del total de NFU)) en aprox. un 37 % en peso del total de los productos del proceso, y una fase gaseosa en un 63%. Los dos componentes de la fase sólida se separan fácilmente con un tropel rotatorio de tamizado. El gas generado sale de los gasógenos a una temperatura superior a 350°C y contiene 2 fases separables:

- Fase gaseosa no condensable; formada por una amplia gama de gases de gasificación (CO, H₂, CO₂, N₂, hidrocarburos tipo C1, C2, C3, C4,...). Representa, de media, un 38% en peso del total de NFU tratados en el proceso, empleados como valorización energética en motores de gas adaptados al respecto.
- Fase gaseosa condensable; constituida por todo el espectro de alquitranes, aceites medianos y ligeros, etc. Constituye un 25% del peso total de los NFU tratados. Los aceites condensados se pueden valorizar energéticamente como sustitutivo de un combustible ligero o emplear en aplicaciones industriales específicas.

4.2.3 Aprovechamiento energético mediante Pirólisis

La pirólisis se ha considerado como una de las soluciones más factibles para valorizar NFU y que además puede proporcionar un provecho económico a gran escala. El interés se centra en el hecho de que los productos obtenidos por este proceso son de fácil manipulación, almacenamiento y transporte.⁶³

La fracción gaseosa generada puede ser utilizada como combustible⁶⁴ para el proceso autotérmico.⁶⁵ Los materiales carbonosos pueden ser utilizados como combustible de alta calidad o como precursores de negro de carbono o carbono activo.⁶⁵

El producto líquido es una mezcla compleja de compuestos orgánicos de 5-20 átomos de carbono con alto contenido en aromáticos.⁶⁶ Tras la destilación, la fracción líquida puede emplearse como aceites o ser mezclada para obtener combustibles para automoción.⁶⁷ También se obtienen otros productos químicos como benceno, tolueno, xylenos y limonenos.^{64,68,69,70}

Por último la fracción sólida puede utilizarse como combustible sólido o como negro de carbono de bajo grado.^{64,41}

Se ha demostrado que mediante tratamiento térmico de neumáticos usados⁷¹ es posible conseguir un negro de carbono pirolítico de una calidad similar a uno comercial de la serie 700 e inferiores, ésto amplía la gama de aplicaciones. Las características del negro de carbono reciclado son diferentes a las del negro de carbono convencional, pero con la optimización se llegan a aproximar. El uso del negro pirolítico para coloración y para absorbente de luz UV podría ofrecerse fácilmente tanto para productos plásticos como para productos de caucho.

La viabilidad económica de la recuperación de neumáticos usados mediante pirólisis depende claramente de una mejora de las propiedades finales de los productos pirolíticos y en sus salidas comerciales.⁷²

El proyecto Pyrol X-Tyre del VI Programa Marco²² pretende diseñar un proceso de pirólisis rápida, controlado por microondas para reciclar el negro de carbono y recuperar energía. Entre los objetivos de este proyecto se cuentan el diseño de un prototipo con alimentación controlada y el desarrollo de una unidad de separación eficaz del sólido de hidrocarburo y poner en marcha una nueva tecnología de sensor que ajuste los parámetros según la calidad del caucho de la alimentación. El objetivo fundamental es obtener productos valiosos de carbono pirolítico, por ser el producto con mayor potencial de valorización.

Las vías de valorización del carbono pirolítico pueden ser: combustible para el acero, combustible de sustitución (mezcla con carbón), negro de carbono para carga en materiales poliméricos o materia prima en la fabricación de carbono activo.

CAPÍTULO 5. Aspectos de mercado

5.1 Gestión de los neumáticos usados

Hasta el momento actual se han constituido dos Sistemas Integrados de Gestión (SIG), uno de ellos denominado “SIGNUS Ecovalor”, constituido legalmente el 19 de mayo de 2005, y “Tratamiento Neumáticos Usados (TNU)” impulsado por la Asociación Nacional de Importadores de Neumáticos (ASIMNE), constituido legalmente el 13 de julio de 2006.⁶

√ **Signus Ecovalor**, que comenzó a operar el día 2 de octubre de 2006, es una sociedad sin ánimo de lucro que tiene como principal objetivo el garantizar el correcto tratamiento de los neumáticos fuera de uso y optimizar los costes de dicha gestión. Signus hará frente a las responsabilidades medioambientales que recaen sobre los productores e importadores de neumáticos asociados a Signus y llevará a cabo la misión de prevenir, reducir, reciclar y valorizar, definida en el marco legislativo.⁷³

En el periodo agosto-diciembre de 2006, Signus gestionó 57.137 toneladas de neumáticos fuera de uso, de los que 39.921 toneladas fueron valorizadas y 4.521 toneladas se recuperaron en el mercado de segunda mano y de recauchutado.⁷³

√ **Tratamiento Neumáticos Usados, S.L.**, es una sociedad sin ánimo de lucro, cuyo fin único se basa en el diseño y organización encaminados a la recogida selectiva y recuperación de residuos de neumáticos y neumáticos fuera de uso, para su posterior tratamiento y valorización y a hacer frente a la responsabilidad de productores asociados a TNU, derivada de la entrada en vigor del R.D. 1619/2005. TNU dará cobertura a todos aquellos productores (fabricantes e importadores) que quieran sumarse a una solución ecológica integral que abarca desde el renovado de las cubiertas para posibilitarles una segunda vía (recauchutado), hasta la creación de granzas para parques infantiles, mezclas de caucho, campos de fútbol, golf, o atletismo.⁷⁴

En 2007 TNU gestionó la recogida de un total de 55.316 toneladas de neumáticos fuera de uso, de los cuales el 15.75 % (8.712 Tm) fueron recauchutados, el 46.69 % (25.827 Tm) reciclados y el 37.56 % (20.777 Tm) fueron valorizados.⁷⁴

El tratamiento de NFU más extendido en los países de la Unión Europea en 2004 fue la valorización energética que alcanzó un 32 % de los NFU generados, seguido de los tratamientos de reciclado con un 30 %. En España los porcentajes para estas modalidades de gestión han sido: en 2004 el 17.2 % y del orden del 17 % en 2005 para la valorización energética, y del orden del 14 % en 2004 y el 13.58 % en 2005 para el reciclado.⁶

Con respecto al porcentaje de neumáticos recauchutados, España se ubica en el entorno del nivel de la media europea con un 14 % del total de NFU así gestionados.⁶

El Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 Versión Preliminar preveía para el 2007 la entrada en funcionamiento de las siguientes seis plantas recicladoras:

Tabla 8. Plantas recicladoras según PNIR 2008-2015.

PLANTAS RECICLADORAS	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE NFU t/año	DE PRODUCCIÓN DE CAUCHO t/año
RMD Alnalcóllar (Sevilla)	20.000	12.000
RENEAN Espeluy (Jaén)	15.000	9.000
AMSA Pont de Vilomara (Barcelona)	15.000	9.000
ANDALUZA DE RECICLAJES ASNA	12.000	7.200
Planta de NFU Zaragoza	12.000	7.200
Granulados Levantinos de Caucho Xirivella (Valencia)	6.000	3.600
TOTAL	80.000	48.000

5.2 Empresas Nacionales

En la tabla 9 se muestra un listado de instalaciones de reciclaje y de valorización energética de neumáticos fuera de uso en nuestro país. En la tabla 10 se muestran un listado de empresas nacionales, sociedades y asociaciones cuyas actividades están relacionadas con los neumáticos fuera de uso.

Tabla 9. Instalaciones dedicadas al reciclaje y a la valorización energética de NFU. Fuentes: CCAA, Tratamiento de Neumáticos Usados, S.L. (TNU), OFICEMEN.⁶

PLANTAS RECICLADORAS	PLANTAS VALORIZADORAS (Valorización Energética)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ RENECAL (Palencia) ▪ RMD (León) ▪ RMD (Sevilla) ▪ ALFREDO MESALLES S.A. (Barcelona) ▪ ANKER (Vitoria) ▪ GMN (Lérida) ▪ RNC (Murcia) ▪ EMA (Castellón) ▪ DAPAR (Córdoba) ▪ GESCOMETAL (Asturias) ▪ INSATURBO (Alicante) ▪ RENEAN (Jaén) ▪ AMSA (Pont de Vilomara- Barcelona) ▪ Andaluza de Reciclajes ASNA (Andalucía) NFU (Zaragoza) ▪ Granulados Levantinos de Caucho Xirivella (Valencia) ▪ Reciclados Corbera, S.L. (Consuegra, Toledo) ▪ Tratamiento de residuos del neumático, S.L. (Toledo)** ▪ Reciclajes Jospat, S.L. (Yeles, Toledo)** ▪ Reciclajes La Mancha, S.L. (Campo de Criptaza, Ciudad Real)** ▪ Negrell Residus (Banyoles, Girona) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carboneras (Almería) HOLCIM ▪ Sagunto (Valencia) ASLAND ▪ Torredonjimeno (Jaén) HOLCIM ▪ Jerez de la Frontera (Cádiz) HOLCIM ▪ Lemona (Vizcaya) PÓRTLAND VALDERRIBAS ▪ San Vicente del Raspeig (Alicante) CEMEX ▪ Málaga ITALCEMENTI ▪ Oural (Lugo) COSMOS ▪ Yeles (Toledo) HOLCIM* ▪ Yepes (Toledo) CEMEX ▪ Lorca (Murcia) HOLCIM ▪ S. Sebastián (Guipúzcoa) ITALCEMENTI ▪ Villaluenga de la Sagra (Toledo) ASLAND* ▪ Son Reus (Mallorca, Baleares) TIRME

* Plantas actualmente no operativas

** Plantas de trituración de neumáticos

Tabla 10. Empresas nacionales, sociedades y asociaciones con actividades relacionadas con NFUs

EMPRESA	ACTIVIDADES RELACIONADAS CON NFUs	CONTACTO	DIRECCIÓN WEB
<i>TRATAMIENTO NEUMÁTICOS USADOS TNU</i>	El Sistema Integrado de Gestión <i>Tratamiento Neumáticos Usados, S.L.</i> , es una sociedad sin ánimo de lucro, que nace para dar respuesta a la responsabilidad de los focos productores de NFU gestionando su reciclado.	Pol. Ind. Carrús C/ Almansa nº 10 - 2ª planta. 03206 Elche (Alicante)	www.tnu.es
<i>SIGNUS ECOVALOR</i>	El Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados <i>Signus Ecover</i> es una sociedad sin ánimo de lucro que tiene como principal objetivo el garantizar el correcto tratamiento de los neumáticos fuera de uso.	C/ Caleruega 102 28033 Madrid	www.signus.es
<i>COFACO</i>	El <i>Consortio Nacional de Industriales del Caucho</i> está formado en la actualidad por cuatro colectivos diferentes: Empresas transformadoras de neumáticos y no neumáticos, Empresas productoras y distribuidoras de materias primas para la industria del caucho, Empresas fabricantes y distribuidoras de maquinaria para la industria del caucho, Empresas comercializadoras de productos de caucho.	C/ Sirio, 18 – Bajo 28007 Madrid	http://www.consortiocaucho.es/
<i>ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NEUMÁTICOS RECICLADOS</i>	—	Príncipe de Vergara, 74 28006 Madrid	
<i>CENTRO DE INVESTIGACIÓN ELPIDIO SANCHEZ MARCOS</i>	Constituido en 1990 centra sus principales actividades en el sector de la construcción a través del control técnico de obras, control de materiales, ensayos e investigación sobre productos y procesos. Entre los principales campos de actuación del <i>Centro de Investigación ESM</i> se encuentran el reciclado y valorización de residuos y las nuevas materias para su empleo en mezclas asfálticas.	Parque Empresarial Barajas Park San Severo, 18 28042 Madrid	www.ciesm.es/eContent/home.asp
<i>ALBAR,</i>	Gestionan los neumáticos fuera de uso para su eliminación, valorización o reciclaje. Entre sus objetivos también que se encuentran crear un sistema estadístico de generación de datos	Plza. de la Rinconada, 9 5ª 47001 Valladolid	www.ambientum.com/webs/albar/

EMPRESA	ACTIVIDADES RELACIONADAS CON NFUs	CONTACTO	DIRECCIÓN WEB
<i>Recuperación y Reciclajes S.L.</i>	sobre NFU y su gestión, para su integración en el Inventario Nacional de Residuos.		
<i>RECAUCHADOS MESAS S.A.</i>	La actividad principal de <i>Recauchutados Mesas S.A.</i> la constituye el reciclado de neumáticos de camión, agrícola e industrial; producción y venta de bandas preestampadas para camión, y producción y venta de goma. Disponen de una fábrica de bandas preestampada para el reciclado de neumáticos de camión y una fábrica de goma para el reciclado de neumáticos.	Pol.Ind. Campollano c/c 14, 02007 Albacete	www.rmesas.com/es/index.htm
<i>HIJOS DE RAMÓN PUCHE, S.L.</i>	Empresa distribuidora de neumáticos y accesorios para automóviles. Utiliza el sistema de recauchutado "BANDAG". Este sistema de recauchutado con banda prevulcanizada proporciona un producto de alta calidad y con él se obtiene un ahorro de 57 litros de combustible con respecto a una cubierta nueva.	Ctra. De Valencia Km. 99 30510 Yecla (Murcia)	
<i>RENOVADOS MK S.L.</i>	<i>Renovados MK</i> produce más de 20.000 neumáticos de camión recauchutados en los dos tipos de sistemas de producción Autoclave/Molde. Recogen carcasas en todo el territorio peninsular. Emplean tecnología por láser para la inspección de carcasas.	CI. Pgo la Corona S/N 50740 Fuentes de Ebro (Zaragoza)	
<i>INDUSTRIAS DEL NEUMÁTICO, S.A.U. INSA TURBO</i>	<i>INSA TURBO</i> es integrante del Grupo Soledad. Comenzó la fabricación de neumáticos renovados en 1988. Tiene una capacidad de producción diaria de 3000 unidades. Los neumáticos no válidos para ser renovados, son triturados volviéndolos a convertir en materia prima como granulado de goma.	Ctra. Aspe-Novelda nº 38 03680 Aspe (Alicante)	www.insaturbo.com
<i>AGLOMERADOS LOS SERRANOS, S.A.</i>	Desde el año 1996 ha puesto en obra unos 220 km de calzada, en vías urbanas e interurbanas de categorías de tráfico desde la T00 a la T4 principalmente en las provincias de Murcia, Valencia, Alicante y Albacete, empleando mezclas bituminosas con polvo de caucho de NFU por vía seca.	Manuel Maciá Juan, 4 03203 Elche Alicante	–
<i>COLLOSA</i>	Participa en diversos proyectos de investigación relacionados con las aplicaciones de mezclas	Paseo de la Castellana, 163	www.collosa.es

EMPRESA	ACTIVIDADES RELACIONADAS CON NFUs	CONTACTO	DIRECCIÓN WEB
	bituminosas en caliente utilizando polvo de neumáticos.	28046 Madrid	
<i>RECUPERACIÓN MATERIALES DIVERSOS, S.A.</i>	RMD es una empresa ubicada en las provincias de León, Valencia, Barcelona y Sevilla. Dedicada a la recuperación de los metales contenidos en cables eléctricos y telefónicos, y también de neumáticos usados y otros residuos de caucho. RMD en Aznalcóllar (Sevilla) tiene una capacidad de tratamiento de NFU de 20.000 t/año. ⁶	Ctra. La Bañeza, Km 7.5 24251 Arduncino (León)	www.rmdsa.com/web/rmdsa/index.php
<i>NEUCICLAJE</i>	Ecoindustria que tiene como objetivo el reciclaje de neumáticos fuera de uso.	Dirección: Polígono Pionas/n 48170 Zamudio (Vizcaya)	www.neuciclaje.com
<i>INDUSTRIAS MÚJKA</i>	Dedicados al reciclaje, clasificación y comercialización de goma y caucho.	Polígono San Juan, Sector 11 Apartado de Correos 76 20750 Bergara (Guipúzcoa)	
<i>ALFREDO MESALLES S.A.</i>	<i>Alfredo Mesalles, S.A. (AMSA)</i> es una empresa dedicada a la recuperación de neumáticos y desperdicios de caucho vulcanizado y sin vulcanizar. Instaló una planta de reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) para la fabricación, mediante un proceso de trituración mecánico, de granza y polvo de caucho en diferentes granulometrías.	Avda. de Bertrán i Güell, 25 08850 Gavá (Barcelona)	www.alfredomesalles.es/
<i>M.C.E. MEZCLAS DEL CAUCHO, S.A.U.</i>	Empresa dedicada a la fabricación de losetas de caucho reciclado. Las losetas y piezas de caucho son productos ecológicos en los cuales el 90% de sus componentes son cauchos provenientes del triturado de neumáticos fuera de uso. Entre las características destacables de las losetas, destacan la amortiguación y absorción de impactos, total elasticidad, permeabilidad al agua, antideslizante, entre otras.	Polígono Industrial Tres Hermanas, C/Canteros, nº 6 03680 Aspe (Alicante)	
<i>EMILIO LÓPEZ MONTERO</i>	Se dedica a la recogida de neumáticos usados en los puntos generadores de neumáticos (talleres). Una vez que entran en la planta son clasificados: los neumáticos aptos se destinan al recauchutado y al mercado de segunda mano y los NFU restantes son triturados en piezas de 10 x 10 centímetros.	C/ Rigoberto Menchú, 1-3ª 46950 Xirivella (Valencia)	
<i>GRANULADOS</i>	Se dedica a recoger neumático troceado de 10 x 10 centímetros que valoriza mecánicamente en sus	C/ Rigoberta Menchú, 1 -3ª,	

EMPRESA	ACTIVIDADES RELACIONADAS CON NFUs	CONTACTO	DIRECCIÓN WEB
<i>LEVANTINOS DEL CAUCHO, S.L.</i>	instalaciones desde 0 micras a un máximo de 19 mm., al mismo tiempo se separa la chatarra.	46950 Xirivella (Valencia)	
<i>SOLODEGOMA</i>	<i>SOLODEGOMA</i> es una empresa del Grupo Soledad. Convierte los neumáticos usados en productos mediambientalmente responsables como son las superficies de campos de juego, césped artificial, planchas de seguridad, o el aislante para viviendas.	Ctra. Aspe-Novelda nº 38. 03680 Aspe (Alicante)	
<i>DAPAR RECICLAJES, S.L.</i>	<i>Dapar</i> es una empresa especializada en la correcta gestión del neumático, que una vez tratado en su planta de reciclaje obtiene de él materias primas que se destinan a nuevos usos.	Crtra Estepa-Guadix km 24.5 Ctra Autonómica 339 14800 Priego de Córdoba (Córdoba)	http://daparreciclaje.com/
<i>Tratamiento Residuos del Neumático, S.L. TRENTEU</i>	El método de tratamiento empleado en el proceso de los residuos es exclusivamente la selección y separación de los neumáticos en función del posible aprovechamiento de cada uno de ellos: carcassas para su posterior recauchutado; ocasión para su segundo uso; neumáticos desechables para aprovechamiento de componentes en fabrica de granulación y neumáticos desechables para valorización energética.	C/Jarama, 27 Pol. Ind. Sta. Mª Benquerencia 45007 Toledo	
<i>RECU-MATIC</i>	Recogida y tratamiento de neumáticos fuera de uso. En la nave de producción, una trituradora con capacidad de 10.000 Kg./hora y en total de 19.200 Tm. de neumáticos al año, realiza la primera fase del proceso ecológico y reciclado de las ruedas usadas	C/Acacias, 2 Pol.Ind. Los Brezos 09196 Villalbilla de Burgos (Burgos)	http://www.recumatic.com/home.htm
<i>RENECAL</i>	La compañía tiene como objetivo la obtención de granulado de caucho a partir del reciclado de neumáticos usados. La planta de <i>RENECAL</i> en Guardo (Palencia), con una superficie de 18.000 m ² entre almacenes e instalaciones, tiene una capacidad de tratamiento de 15.000 toneladas/año de neumáticos usados	Oficina Central, C/Sevilla nº6 28014 Madrid	http://www.grupo-gcg.com/castellano/c-renecal.htm

EMPRESA	ACTIVIDADES RELACIONADAS CON NFUs	CONTACTO	DIRECCIÓN WEB
<p><i>GRUPO GUASCOR</i></p>	<p>La planta industrial recicla el 65% del neumático y valoriza el 35% restante mediante gasificación. La planta tipo está dimensionada para tratar un volumen anual de 12.000 toneladas de neumáticos fuera de uso.</p>	<p>Avda. Cardenal Herrera Oria, 63, 4º 28034 Madrid</p>	<p>http://www.guascor.com/caste/home.htm</p>
<p><i>CEMEX</i></p>	<p>Cemex está realizando un importante esfuerzo por incrementar su porcentaje de sustitución de combustibles fósiles por otro tipo de combustibles alternativos –biomasa, neumáticos y plásticos, entre otros- para contribuir a la reducción del uso de recursos naturales y de la emisión de gases de efecto invernadero.</p>	<p>Hernández de Tejada, 1 28027 Madrid</p>	<p>www.cemex.es</p>
<p><i>GEOCYCLE ESPAÑA S.A.</i></p>	<p><i>Geocycle España SA</i>, es la empresa del Grupo Holcim (España) encargada de la gestión de residuos para su uso como combustibles y materiales alternativos en las fábricas de cemento de Holcim (España). Holcim (España) valoriza NFU's en las siguientes plantas de cemento del grupo: Jerez: enteros; Carboneras: triturados; Lorca: enteros; Torredonjimeno: enteros. También dispone de una planta móvil de trituración.</p>	<p>Paseo de la Castellana nº 95, 3º 28046 Madrid.</p>	<p>http://www.energis.es/</p>

CAPÍTULO 6. Metodología empleada, sentencias y análisis de las búsquedas

Uno de los objetivos del CIMTAN es promover y difundir las prácticas de la Vigilancia Tecnológica. Para ello se ha elaborado una serie de anexos donde se plasma la selección de fuentes de información y las sentencias de búsqueda utilizadas en cada una de ellas. De esta manera, la información extraída podrá ser actualizada periódicamente, según las necesidades que surjan.

En la tabla 11 se muestran las bases de datos empleadas para las búsquedas de información, así como el número de resultados obtenidos divididos en varios periodos de tiempo.

Tabla 11. Resumen de las estrategias de búsquedas utilizadas para la elaboración de este informe:

Bases de Datos	Documento	Resultados 2000-2006	Resultados 2006-2008	Sentencia de búsqueda
Current Contents				
 WoK	Artículos	142	60	(Tire* OR Tyre*) AND recycl*
 esp@cenet	Patentes	120	37	(Tire* OR Tyre*) AND recycl*
Derwent Innovation				
 Index WoK	Patentes	506	190	TS=(tire* OR tyre*) AND TS=(scrap OR waste OR used) AND TS=(recycl*)
 OAlster ...find the pearls	Tesis Doctorales	3	5	Tire* AND recycl* Tyre* AND recycl*
 BOE.es	Ley, Plan Nacional, Real Decreto	4	1	neumáticos
 Europa	Directivas	2	–	neumáticos
 Norma	Proyecto de Norma	1	–	neumáticos
 CORDIS	Proyectos I+D	13	2	(Tire* OR tyre*) AND recycl*

Se encontraron 142 artículos en la base de datos “Current Contents Connect” bajo la sentencia de búsqueda; (tyre* OR tire*) AND recycl* entre los años 2000 y 2006. Destacan como grupos principales de investigación el Instituto Tecnológico de la India, CSIC, Universidad de Leeds, Escuela de Ingenieros de Bilbao, entre otros.

Empleando las mismas sentencias de búsqueda se han encontrado 60 artículos en la base de datos “Current Contents Connect” entre los años 2006-2008. En este caso destacan como grupos principales de investigación el CSIC y la Universidad Gyeongsang Nacional.

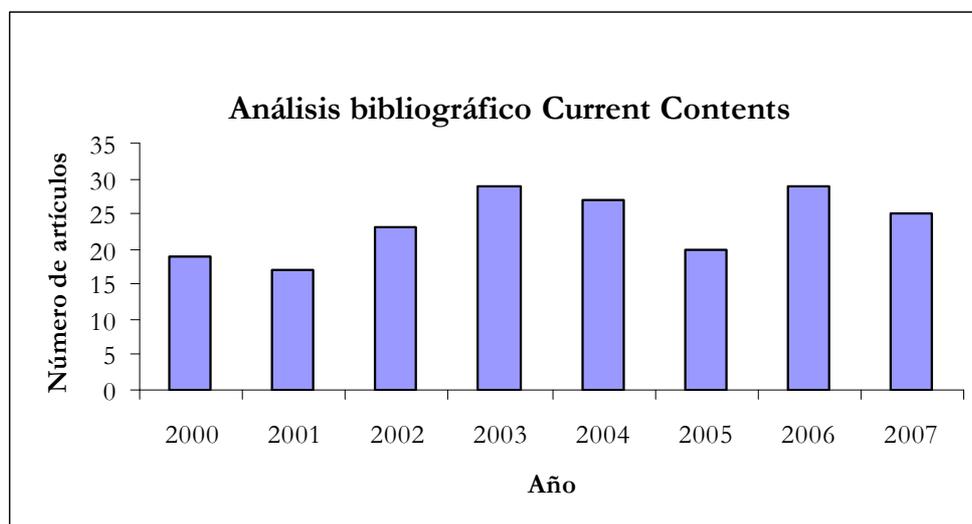


Figura 11. Análisis bibliográfico Current Contents Connect

De 2001 a 2003 se observa un aumento creciente en el número de artículos publicados, produciéndose un descenso en los años 2004 y 2005. Sin embargo el número de publicaciones aumenta en el año 2006, produciéndose un ligero descenso en el año 2007.

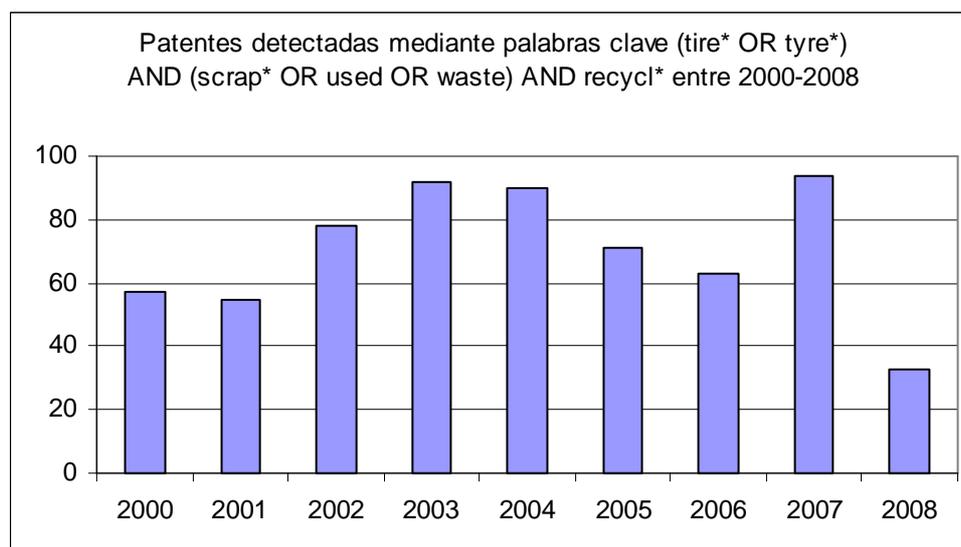


Figura 12. Patentes Derwent Innovation Index

Se detecta un claro aumento de patentes publicadas en 2007 tal y como ya sucediera en 2003 y 2004 y que se relaciona directamente con el número de publicaciones científicas hasta el año 2005.

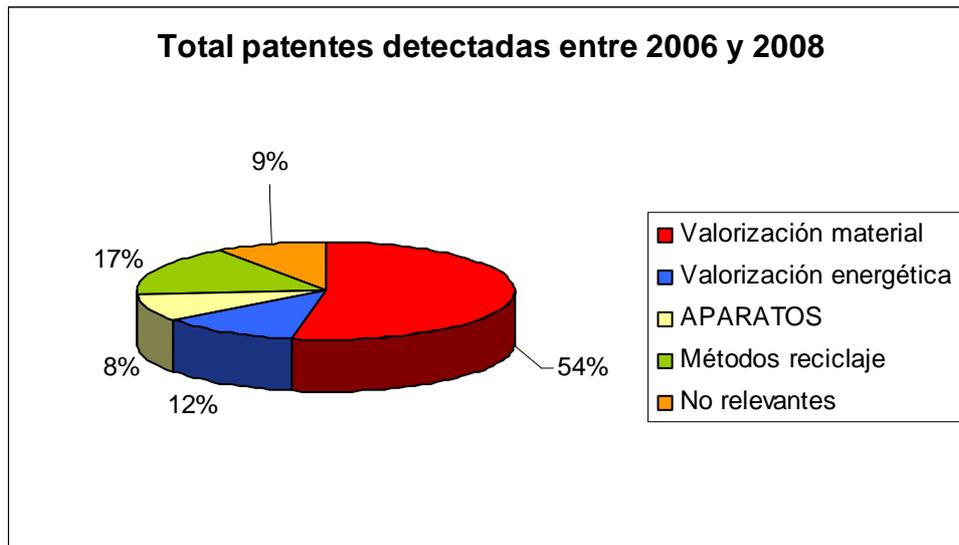


Figura 13. Total patentes detectadas entre 2006 y 2008

Se observa que el mayor porcentaje de solicitudes de patentes entre los años 2006 y 2008 corresponden a métodos de valorización material. Se indica que los datos del año 2008 son parciales.

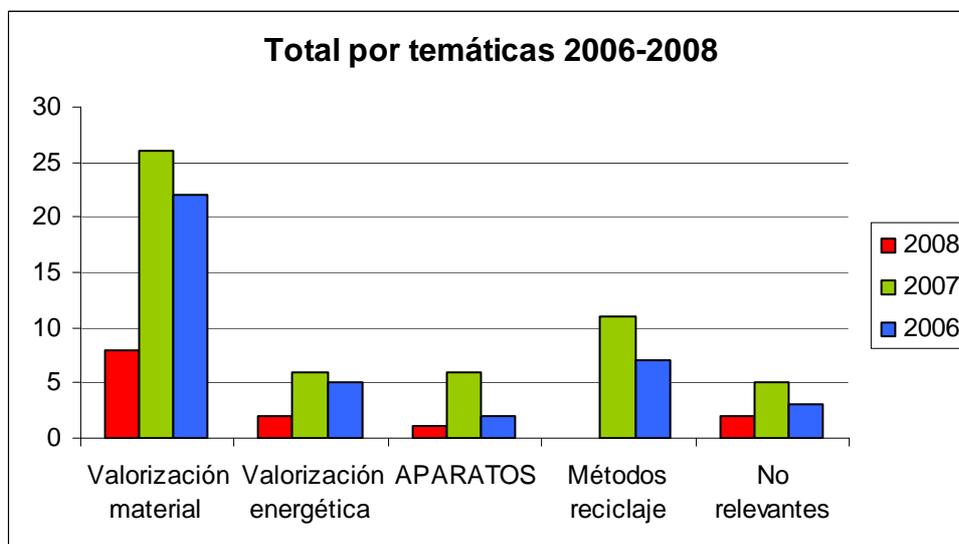


Figura 14. Total patentes por temáticas 2006-2008

Se observa un incremento de solicitudes de patentes en todas las temáticas entre los años 2006 y 2007. Se indica que los datos del año 2008 son parciales.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFIA

1. UE. Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos.
2. España. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
3. UE. Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de septiembre de 2000 relativa a los vehículos al final de su vida útil.
4. España. Resolución de 8 de octubre de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 5 de octubre de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, 2001-2006.
5. España. Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso.
6. Ministerio de Medio Ambiente. II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2008-2015 (II PNFU). Anexo 4 Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 Versión Preliminar.
7. Smith WF. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Segunda ed. McGraw-Hill, 1992.
8. Autores varios. Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento, 2007.
9. Feasibility of recycling rubbermodified paving materials. 2005.
10. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Projet d'Etat: Aide à l'Execution Relative à l'Entreposage au Traitement et à la Valorisation des Pneus Usagés. 2003.
11. European Standard prEN 14243. End-of-Life Tyre-Recycling-Materials. 2005.
12. Calatayud Monreal A. Conocimiento y Tecnología del Neumático Renovado. INSA TURBO, Industrias del Neumático S.A.-GRUPO SOLEDAD.
13. Amari T, Themelis NJ, Wernick IK. Resource Recovery from used Rubber Tires. 1999; 25:179.
14. Ferrao P, Ribeiro P, Silva P. A management system for end-of-life tyres: A portuguese case study. Waste Manage. 2008; 28(3):604-614.
15. Tomás Raz R. Jornada sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras: "Panorámica General sobre la utilización de NFU en carreteras". 2004.
16. Scaffaro R, Dintcheva NT, Nocilla MA, La Mantia FP. Formulation, characterization and optimization of the processing condition of blends of recycled polyethylene and ground tyre rubber: Mechanical and rheological analysis. Polym Degrad Stab. 2005; 90(2):281-287.
17. Han SC, Han MH. Fracture behavior of NR and SBR vulcanizates filled with ground rubber having uniform particle size. J Appl Polym Sci. 2002; 85(12):2491-2500.
18. Hernandez-Olivares F, Barluenga G, Bollati M, Witoszek B. Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete. Cem Concr Res. 2002; 32(10):1587-1596.

19. Albano C, Camacho N, Reyes J, Feliu JL, Hernandez M. Influence of scrap rubber addition to portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. *Composite Structures*. 2005; 71(3-4):439-446.
20. Raghavan D. Study of rubber-filled cementitious composites. *J Appl Polym Sci*. 2000; 77(4):934-942.
21. Turatsinze A, Bonnet S, Granju JL. Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. *Build Environ*. 2005; 40(2):221-226.
22. Marcos Fernández A. Reciclado de Neumáticos. Situación, Tecnologías y Tendencias. *Revista de Plásticos Modernos*. 2005; 89(587):473.
23. Myhre M, MacKillop DA. Rubber recycling. *Rubber Chemistry and Technology*. 2002; 75(3):429-474.
24. Mesalles, A. Fabricación de granulado de caucho de NFU por molienda mecánica. Seminario sobre Innovación en el Aprovechamiento de NFUs, 2000.
25. de Paul, J.J. Fabricación de granulado de caucho de NFU por molienda criogénica. Seminario sobre Innovación en el Aprovechamiento de NFUs, 2000.
26. Kojima M, Tosaka M, Ikeda Y, Kohjiya S. Devulcanization of carbon black filled natural rubber using supercritical carbon dioxide. *J Appl Polym Sci*. 2005; 95(1):137-143.
27. Bredberg K, Andersson BE, Landfors E, Holst O. Microbial detoxification of waste rubber material by wood-rotting fungi. *Bioresour Technol*. 2002; 83(3):221-224.
28. Tripathy AR, Williams DE, Farris RJ. Rubber plasticizers from degraded. *Polym Eng Sci*. 2004; 44(7):1338-1350.
29. [Anonymous]. Abstracts of meeting papers 154th meeting (fall 98) of the rubber division american chemical society nashville, tennessee september 29-october 2, 1998. *Rubber Chemistry and Technology*. 1999; 72(1):225-252.
30. Fukumori K, Matsushita M, Okamoto H, Sato N, Suzuki Y, Takeuchi K. *Society of Automotive Engineers of Japan Review*. 2002; 23:259.
31. Jana GK, Mahaling RN, Das CK. A novel devulcanization technology for vulcanized natural rubber. *J Appl Polym Sci*. 2006; 99(5):2831-2840.
32. Maridass B, Gupta BR. Recycling of waste tire rubber powder - devulcanization in a counter rotating twin screw extruder. *Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 2003; 56(5):232-236.
33. Kostanski LK. *Rubber Chemistry and Technology*. 2000; 73:148.
34. Masaki K, Ohkawara SI, Hirano T, Seno M, Sato T. Devulcanization of nitrile butadiene rubber in nitrobenzene. *J Appl Polym Sci*. 2004; 91(5):3342-3353.
35. Feng WL, Isayev AI. Recycling of tire-curing bladder by ultrasonic devulcanization. *Polym Eng Sci*. 2006; 46(1):8-18.
36. Yun JS, Isayev AI. Blends of ultrasonically devulcanized and virgin carbon black filled ethylene-propylene-diene monomer rubbers. *J Appl Polym Sci*. 2004; 92(1):132-138.

37. Scuracchio CH, Bretas RES, Isayev AI. Blends of PS with SBR devulcanized by ultrasound: Rheology and morphology. *Journal of Elastomers and Plastics*. 2004; 36(1):45-75.
38. Yun J, Oh JS, Isayev AI. Ultrasonic devulcanization reactors for recycling of GRT: Comparative study. *Rubber Chemistry and Technology*. 2001; 74(2):317-330.
39. Martínez Antonio ME. Improvements in Reclaiming Techniques. *Tire Technology International*. 2002.
40. Laresgoiti MF, Caballero BM, de Marco I, Torres A, Cabrero MA, Chomon MJ. Characterization of the liquid products obtained in tyre pyrolysis. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2004; 71(2):917-934.
41. Laresgoiti MF, de Marco I, Torres A, Caballero B, Cabrero MA, Chomon MJ. Chromatographic analysis of the gases obtained in tyre pyrolysis. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2000; 55(1):43-54.
42. de Marco I, Caballero B, Torres A, Laresgoiti MF, Chomon MJ, Cabrero MA. Recycling polymeric wastes by means of pyrolysis. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2002; 77(7):817-824.
43. Mastral AM, Murillo R, Callen MS, Garcia T. Optimisation of scrap automotive tyres recycling into valuable liquid fuels. *Resources Conservation and Recycling*. 2000; 29(4):263-272.
44. Yousefi AA, Ait-Kadi A, Roy C. Effect of used-tire-derived pyrolytic oil residue on the properties of polymer-modified asphalts. *Fuel*. 2000; 79(8):975-986.
45. Seidelt S, Muller-Hagedorn A, Bockhorn H. Description of tire pyrolysis by thermal degradation behaviour of main components. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2006; 75(1):11-18.
46. Senneca O, Salatino P, Chirone R. A fast heating-rate thermogravimetric study of the pyrolysis of scrap tyres. *Fuel*. 1999; 78(13):1575-1581.
47. Leung DY, Wang CL. Kinetic study of scrap tyre pyrolysis and combustion. *J Anal Appl Pyrolysis*. 1998; 45(2):153-169.
48. Chena JH, Chenb KS, Tong LY. *Journal of Hazardous Materials*. 2001; B84:43.
49. Olazar M, Lopez G, Arabiourrutia M, Elordi G, Aguado R, Bilbao J. Kinetic modelling of tyre pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2008; 81:127-132.
50. Serrano Leal J. Jornada sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras: "Otras aplicaciones en ingeniería civil". 2004.
51. Tejela Otero JA. Jornada sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras: "Pavimentos de seguridad, deportivos y otras aplicaciones". 2004.
52. Tejela Otero JA. Campos de hierba artificial.
53. Dirección General de Carreteras. Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU).
54. Adhikari B, De D, Maiti S. Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in Polymer Science*. 2000; 25(7):909-948.
55. Mark HF, Bikales NM, Overberger CG, Menges G. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. 1988; 14:787.

56. Sharma VK, Fortuna F, Mincarini M, Berillo M, Cornacchia G. Disposal of Waste Tyres of Energy Recovery and Safe Environment. *Applied Energy*. 2000; 65:381.
57. Mastral AM, Alvarez R, Callen MS, Clemente C, Murillo R. Characterization of chars from coal-tire copyrolysis. *Ind Eng Chem Res*. 1999; 38(7):2856-2860.
58. Mastral AM, Murillo R, Callen MS, Garcia T. Application of coal conversion technology to tire processing. *Fuel Process Technol*. 1999; 60(3):231-242.
59. Merchant AA, Petrich MA. Pyrolysis of scrap tires and conversion of chars to activated carbon. *AICHE J*. 1993; 39(8):1370-1376.
60. Mastral AM, Murillo R, Callen MS, Garcia T, Snape CE. Influence of process variables on oils from tire pyrolysis and hydrolysis in a swept fixed bed reactor. *Energy Fuels*. 2000; 14(4):739-744.
61. ETRma. EUROPEAN TYRE & RUBBER manufacturers' association <<http://www.etrma.org/>> . .
62. Sebastián, L. Aprovechamiento energético de NFU por gasificación. Seminario sobre Innovación en el Aprovechamiento de neumáticos fuera de uso, 2000.
63. Lee JM, Lee JS, Kim JR, Kim SD. Pyrolysis of waste tires with partial oxidation in a fluidized-bed reactor. *Energy*. 1995; 20(10):969-976.
64. Cunliffe AM, Williams PT. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 1998; 44(2):131.
65. Murillo R, Navarro MV, Garcia T, et al. Production and application of activated carbons made from waste tire. *Ind Eng Chem Res*. 2005; 44(18):7228-7233.
66. de Marco Rodriguez, I., Laresgoiti MF, Cabrero MA, Torres A, Chomón MJ, Caballero B. Pyrolysis of Scrap Tyres. *Fuel Processing Technology*. 2001; 72:9.
67. Murillo R, Aranda A, Aylon E, Callen MS, Mastral AM. Process for the separation of gas products from waste tire pyrolysis. *Ind Eng Chem Res*. 2006; 45(5):1734-1738.
68. Williams PT, Brindle AJ. Temperature selective condensation of tyre pyrolysis oils to maximise the recovery of single ring aromatic compounds. *Fuel*. 2003; 82(9):1023-1031.
69. Ucara S, Karagoza S, Ozkanb AR, Yanık J. *Fuel*. 2005; 84:1884.
70. Berruero C, Esperanza E, Mastral FJ, Ceamanos J, Garcia-Bacaicoa P. Pyrolysis of waste tyres in an atmospheric static-bed batch reactor: Analysis of the gases obtained. *J Anal Appl Pyrolysis*. 2005; 74(1-2):245-253.
71. Marcos Fernández A, Rodríguez Díaz A, Fernández Torres A. Negro de carbono de calidad obtenido por tratamiento térmico de neumáticos usados. *Revista de Plásticos Modernos*. 2005; 90(591):230.
72. Aranda A, Murillo R, Garcia T, Callen MS, Mastral AM. Steam activation of tyre pyrolytic carbon black: Kinetic study in a thermobalance. *Chem Eng J*. 2007; 126(2-3):79-85.
73. Ministerio de Medio Ambiente. Información Estadística y Ambiental. Gestión Ambiental del Sector Privado. 2007.
74. Tratamiento Neumáticos Usados TNU. <www.tnu.es>.

CAPÍTULO 8. Anexos

Anexo I. Legislación: ámbito europeo y estatal

La Unión Europea adoptó la **Directiva 1999/31/CE** relativa al vertido de residuos. Según su artículo 1.1 el objetivo de esta Directiva era establecer las medidas, procedimientos y orientaciones para impedir o reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos en el medio ambiente del vertido de residuos, en particular la contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo y el aire, y del medio ambiente mundial, incluido el efecto invernadero, así como cualquier riesgo derivado para la salud humana, durante todo el ciclo de vida del vertedero.

Todos los años se generan residuos procedentes de los vehículos al final de su vida útil, que deben ser gestionados correctamente, por éstas y demás consideraciones, los estados miembros adoptaron la **Directiva 2000/53/CE**. Esta Directiva establece medidas destinadas a la prevención de los residuos procedentes de vehículos y adicionalmente, a la reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil y sus componentes, para así reducir la eliminación de residuos y mejorar la protección medioambiental. Entre las operaciones de tratamiento para fomentar el reciclado (Anexo I, apartado 4), se encuentra el de retirada de neumáticos y componentes plásticos de gran tamaño (por ejemplo, parachoques, salpicaderos, depósitos de fluidos, etc) si estos materiales no van a ser retirados en el proceso de fragmentación de tal modo que puedan reciclarse efectivamente como materiales.

España es uno de los países europeos en los que, en gran porcentaje, se utiliza el vertedero para la eliminación de los residuos. La existencia de vertederos incontrolados y las obligaciones impuestas por la normativa comunitaria justifican la adopción del Real Decreto 1481/2001 que incorpora al derecho interno la Directiva 1999/31/CE.

El **Real Decreto 1481/2001**, establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Asimismo, delimita los criterios técnicos mínimos para su diseño, construcción, explotación, clausura y mantenimiento. La relación entre los vertederos y el vertido de neumáticos se establece de la siguiente forma:

“Artículo 5.3. No se admitirán en ningún vertedero los residuos siguientes: ...d) A partir del 16 de julio de 2003, neumáticos usados enteros, con exclusión de los neumáticos utilizados como elementos de protección en el vertedero, y a partir del 16 de julio de 2006, neumáticos

usados troceados; no obstante, se admitirán los neumáticos de bicicleta y los neumáticos cuyo diámetro exterior sea superior a 1400 milímetros.”

En octubre de 2001 se aprobó el **Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso** 2001-2006, en el que se preveía la elaboración y aprobación de un esquema económico para asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU.

Para todo esto es obligado respetar el llamado principio de jerarquía, contemplado en el artículo 1.1 de la **Ley 10/1998**, de 21 de abril, de Residuos. Se trata, por tanto, de prevenir en la medida de lo posible, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar y valorizar energéticamente todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar.

En diciembre de 2005 se aprueba el **Real Decreto 1619/2005**, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. Este Decreto constituye la culminación de un proceso tendente a optimizar la gestión de los NFU. Los contenidos básicos de este Real Decreto son los siguientes:

- 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 adquirentes en otro Estado de la UE.

- Según dispone el artículo 1, prevenir la generación de NFU y establecer el régimen jurídico de su producción y gestión, con excepción de los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior sea superior a 1.400 milímetros.

- Los productores deberán elaborar un plan empresarial de prevención de neumáticos fuera de uso para minimizar las afecciones al medio ambiente que incluirá, al menos, la identificación de los mecanismos aplicables para alargar la vida útil de sus productos y facilitar la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de los neumáticos fuera de uso.

- Identificar la figura del “Generador del residuo” (por ejemplo los talleres de coches) estableciendo sus obligaciones, entre las que destaca la de hacerse cargo de aquellos neumáticos fuera de uso que generen como consecuencia de la prestación de un servicio dentro del marco de sus actividades. En este sentido estarán obligados a entregar los NFU al productor de neumáticos o a un centro autorizado o gestor, a menos que procedan a gestionarlos por sí mismo.

- Los sistemas integrados de gestión garantizarán la recogida de los neumáticos fuera de uso y su correcta gestión que se llevará a cabo a través de una entidad gestora que ha de tener personalidad jurídica propia y carecer de ánimo de lucro.

▫ Establecer obligaciones para los productores de neumáticos tales como garantizar que se alcanzan, como mínimo, los objetivos ecológicos que se establecen en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006 y en sus **sucesivas revisiones**. (Art. 4.2).

El **II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso** (Anexo 4 del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 Versión Preliminar) se redacta como revisión del Plan Nacional (2001-2006).

Los objetivos cualitativos y cuantitativos que se establecen en el capítulo 7.1.4. y 7.2.4. respectivamente de la Memoria del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 Versión Preliminar son los siguientes:

Objetivos cualitativos:

- √ Asegurar la correcta gestión ambiental de los NFU
- √ Aplicación del principio de responsabilidad del productor a los responsables de la puesta en el mercado de los neumáticos
- √ Determinar objetivos cuantitativos de valorización y reciclaje de NFU

Objetivos cuantitativos (%):

	2008	2012	2015
PREVENCIÓN			
- Reducción			8
- Recauchutado		15	20
VALORIZACIÓN	98	98	98
RECICLAJE	50 (40 del caucho en mezclas bituminosas)	52 (42 del caucho en mezclas bituminosas)	55 (45 del caucho en mezclas bituminosas)
	Acero: 100	Acero: 100	Acero: 100
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	30	25	20

	DEFINICIONES	
	Reducción	
PRINCIPIO DE JERARQUÍA Art. 1.1 Ley 10/1998	Reutilización	El empleo de un producto usado para el mismo fin para el que fue diseñado originariamente.
	Reciclado	La transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su fin inicial o para otros fines, incluido el compostaje y la biometanización, pero no la incineración con recuperación de energía.
	Otras formas de valorización	Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.

Anexo II. Proyectos I+D

Base de Datos	
Título	Environmentally appropriate complete utilisation of worn-out tires by cryogenic detonative and pirolitic technology
Referencia	INTAS-2001-00792
Duración	01-07-2002 hasta 30-06-2004
Coste del proyecto	-
Descripción	The main goal of this project is to study the nature of processing of worn-out tires by cryogenic detonation and pyrolysis and to develop technology for their complete processing and utilization.
Título	Grinding of scrap tyres into rubber powder, its applications and marketing
Referencia	G5ST-CT-2000-00073
Duración	15-05-2000 hasta 14-05-2001
Coste del proyecto	30.000 EURO
Descripción	This project concerns recycling of scrap automobile tires by grinding them to a rubber powder with very small particle size. The project offers a considerable improvement of the grinding technology.
Título	Waste fibre recycling in concrete; development of design guidelines
Referencia	HPMF-CT-2002-01825
Duración	01-09-2002 hasta 31-08-2004
Coste del proyecto	107.472 EURO
Descripción	The proposed research project aims to review existing information both from the host Institution and from the available literature on steel fiber reinforcement and deliver design guidelines for the effective use of recycled steel fibers in concrete construction.
Título	Improvements in Tyre Casing Assessment and Consequent Retreadability
Referencia	BRST985255
Duración	01-10-1998 hasta 31-03-2001
Coste del proyecto	-

Base de Datos	
Descripción	The aim of the proposed research is better assessment of new tyre casing integrity in order to increase the number of tyres in Europe that are recycled by retreading
Título	Granulated retreaded tyres for slippey conditions increased rubber recycling and less road wear
Referencia	IN20678I
Duración	04-06-2003
Coste del proyecto	-
Descripción	The project was concerned with standardising the production methods for granulated tyres (by retreading) and enhancing the production methods for the granules.
Título	Chemical recovery from waste tyre streams using industrial microwave processes (tyre recovery by industrial microwaves t.r.i.m.)
Referencia	G1ST-CT-2001-00262
Duración	19-07-2001 hasta 18-04-2002
Coste del proyecto	30.000 EURO
Descripción	The proposed research addresses the need to revisit tyre recycling by pyrolysis using microwave technology. A patent owned by the lead SME suggests that a microwave route may lead to useful products and be less polluting than incineration.
Título	Remove scrap tyres from European waste streams to recycle high quality Carbon Black and recover energy by fast and feedback controlled microwave pyrolysis (PYROL-X-TYRE)
Referencia	500233
Duración	15-10-2004 hasta 14-10-2007
Coste del proyecto	2.878.098 EURO
Descripción	The project will therefore directly contribute to the Landfill Directive with respect to achieving recycling and recovery of materials and safeguarding natural resources. Our project also complies with the work programme for horizontal Research Activities 9.3 Collective Research with specific relevance to the Objectives of the Specific programme. The project involves specific activities covering a wide field of science and technology that will in the interest of large communities of SMEs both engaged in the tyre recycling sector and rubber moulding and extrusion sector.
Título	Development of an innovative recycling process based in cryogenic and water jet grinding and sintering techniques for extending the use of recycled rubber in the development of high quality products.
Referencia	17958
Duración	15-10-2005 hasta 14-10-2007

Base de Datos	
Coste del proyecto	1.296.752 EURO
Descripción	The main use of tyres is as fuel substituting one environmental problem for another due to emissions. In this sense, several efforts have been made in finding new high demanding applications for recycled rubber, but with low success. This is mainly due to the approach followed. Attempts have aimed at mass low demanding applications as asphalt infill, instead of trying to solve the main barriers for the application of rubber in high demanding products: lower mechanical properties and an inferior market perception of recycled rubber.
Título	Tyre and road wear and slip assessment (TROWS)
Referencia	G3RD-CT-2000-00247
Duración	01-04-2000 hasta 31-03-2003
Coste del proyecto	4.212.692 EURO
Descripción	TROWS gains insight into tyre and road wear process in order to reduce both tyre and road wear. Tyre wear reduction leads to less emission of rubber, less worn tyres disposal and less energy for tyre production as well as less vehicle maintenance costs. By road wear reduction road maintenance is reduced.
Título	A low cost elastomeric and impact absorbing asphalt derived from scrap tyres
Referencia	882
Duración	-
Coste del proyecto	-
Descripción	Sureflex is an elastomeric, impact absorbing asphalt. Unlike traditional asphalt, which consists of aggregates and a bituminous binder, Sureflex replaces part of the aggregates with rubber crumb derived from end of life tyre casings, and uses a polymer modified bitumen as the binder. This truly flexible pavement contains the properties of viscosity, elasticity and plasticity.
Título	High shear mixing to recycle vulcanised rubber by devulcanisation
Referencia	G5ST-CT-2000-50042
Duración	01-01-2001 hasta 31-12-2002
Coste del proyecto	1.896.436 EURO
Descripción	-
Título	Recycling scrap tyres using a new innovative process into carbon products used in several marketplaces "recycltyre"
Referencia	G1ST-CT-2002-50281

Base de Datos	
<i>Duración</i>	01-01-2003 hasta 31-12-2005
<i>Coste del proyecto</i>	1.020.600 EURO
<i>Descripción</i>	-
<i>Título</i>	Recycling of crumb rubber and polyolefin waste by producing thermoplastic elastomers
<i>Referencia</i>	ICA2-CT-2001-10003
<i>Duración</i>	01-07-2001 hasta 31-12-2003
<i>Coste del proyecto</i>	340.000 EURO
<i>Descripción</i>	Aim of the work is the conversion of crumb rubber and polyolefin wastes into thermoplastic Eastover with enhanced properties. The source of materials will be ground tyre rubbers and waste post consumer greenhouse covering and mulch films, bottle transportation crates and packaging films, constituted by polyethylene and polypropylene.
<i>Título</i>	Economical and sustainable pavement infrastructure for surface transport
<i>Referencia</i>	31530
<i>Duración</i>	01-10-2006 hasta 30-09-2009
<i>Coste del proyecto</i>	2.477.223 EURO
<i>Descripción</i>	The benefits of the new construction concept will be manifold, such as to reduce construction costs by 10-20%, reduce construction time by 15%, reduce the energy consumption in road construction by 40%, minimise maintenance, use waste materials in road construction and make tyre recycling more economically attractive.
<i>Título</i>	Development of a low cost non- destructive inspection equipment to improve the assessment of tyre casing integrity
<i>Referencia</i>	30274
<i>Duración</i>	01-03-2007 hasta 28-02-2010
<i>Coste del proyecto</i>	3.256.917 EURO
<i>Descripción</i>	This project will develop a tyre casing inspection machine (tyretest) to complement the manual inspection of used truck casings in order to reduce operating costs, consistently deliver product quality and safety, as well as promote the recycling and reuse of tyres.

Anexo III. Patentes

Clasificación por temática de patentes relevantes identificadas mediante la sentencia de búsqueda (tire* OR tyre*) AND (scrap OR waste OR used) AND (recycl*)

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
JP2008048666-A	Grass vegetation mat for growing grass, has rubber chip mat main body which is provided with concave grooves which cross surface top on at least one surface	Individual	06/03/2008	Material
US7338229-B1	Traffic cone counterweight structure, has base made from recycled materials and integrally formed with body including interlocking members, where structure is made from waste tire by stamping and extruding processes	JING NAN TRAFFIC ENG CO LTD	04/03/2008	Material
JP2008013740-A	Processing apparatus for processing waste tire, has conveyance set of trays for accommodating processed material in upper portion of box-type combustion chamber	Individual	24/01/2008	Aparato
CN201009419-Y	Gum extruder used for recycling waste and scrap tire has back blind flange which is set with rectangular gum outlet, and is fixedly connected with back end of gum extruder body by bolt	Individual	23/01/2008	Aparato
GB2440145-A	Barrier for use at e.g. road works for protecting workmen, has tires that are arranged and secured together, to form tube	WILL-Individual	23/01/2008	Material
JP2008002205-A	Ground structure manufacturing method for civil engineering-and-construction application, involves spreading granule to all corners of ring-shaped cavity with centrifugal force	BRIDGESTONE CORP	10/01/2008	Material
WO2008003819-A1	Tire cutting device for cutting used tire for recycling, has counter blade with sharp tip for partial insertion through side wall of tire, so that side wall is arranged between it and discoidal cutting blade	AARR-Individual	10/01/2008	Aparato
CN200988284-Y	Preparation device for rubber powder of worn-out tire has flume which is connected with follow-up processing equipment through waterspout or water pump	CHEN-Individual	12/12/2007	Aparato

N° solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
CN200981855-Y	Recycling and pyrogenation device for composite type waste rubber e.g. used meridian tire, has gas dividing room connected with gas holder and blower through pipe, and reducer connected with umbrella type gear through revolving shaft	Individual	28/11/2007	Aparato
BR200503591-A	Method for producing covering element for construction materials and recycling of used materials, involves developing efficient environment for protection of constructions against bad weather of high intensity	PETR-Individual	20/11/2007	Método
JP2007297577-A	Forced condensation oil-formation apparatus for processing e.g. waste tire as oil formation and classification recycle energy source has regulator which sets temperature for temperature control of cooling jacket in designated portion	Individual	15/11/2007	Energética
WO2007131240-A2	Gas conditioning system for gasification process of waste, has baghouse filters in secondary gas conditioner to remove particulate from cooled gas, to provide partially conditioned secondary gas resent to primary gas conditioner	PLASCO ENERGY GROUP INC	15/11/2007	Energética
WO2007131235-A2	Heat recycling system for use with gasifier e.g. for gasification of municipal solid waste, transfers hot gas to gas-to-fluid heat exchanger, so that to produce cooled gas and heated fluid that is transferred to gasifier	PLASCO ENERGY GROUP INC	15/11/2007	Energética
CN101069978-A	Asphalt tile forming method, involves recycling unstuck colored material at sub atmospheric pressure, and tightly pressing tire base scattered with materials so as to prepare asphalt tile	JIAO-Individual	14/11/2007	Material
KR2007103825-A	Apparatus and method for manufacturing a manhole cover by using a synthetic resin as a first filler and a waste tire material as a second filler	LEEH-Individual	25/10/2007	Material
US2007234656-A1	Window/glass door's protective cover for e.g. home, has four holes provided in corners of cover, and sleeve comprising three sides designed to be attached to bottom and sides of window/door frame	FRAM-Individual	11/10/2007	Material
WO2007111526-A1	Worn tires recycling by crushing using line comprising preparation system, disintegrator and classifier made as sloping meshed filter	Individual	04/10/2007	Método
CN101037607-A	Environment-friendly cracking technology and device for scrap tire with electric energy	Individual	19/09/2007	Energética

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
US2007213571-A1	Catalytic reaction utilization to recycle organic scrap e.g. oil tanks, by placing scrap and catalyst into vertical cracking furnace, and collecting primary cracked gas from furnace top and feeding solid product into rotary cracking furnace	CHEN-Individual	13/09/2007	Energética
JP2007231153-A	Manufacture of natural-rubber wet masterbatch for natural-rubber wet masterbatch for rubber composition used for pneumatic tire, involves mixing natural-rubber latex and slurry solution containing carbon black in water and drying	BRIDGESTONE CORP	13/09/2007	Material
TW286463-B1	Artificial reef made of waste tire - that can be used to contribute fishes to breed and grow, which promotes the fish catching quantity along the coast and forms a permanent productive resource	Individual	11/09/2007	Material
WO2007097646-A1	Tire cutting apparatus has controller to effect positional variation of cutting unit relative to housing	ENTIRE SOLUTIONS LTD	30/08/2007	Aparato
DE102006006202-A1	Adhesive and industrial materials for making semifinished products, heavy duty coatings and structural adhesives are based on linseed oil epoxide filled with calcium hydrogen phosphate and rubber recycleate from scrap tires	DRACOWO FORSCHUNGS & ENTWICKLUNGS	16/08/2007	Material
CN101016416-A	Prescription of a rubber box material and making method of it	ZHAO-Individual	15/08/2007	Material
KR2007080302-A	Sporting equipment using waste tire wheel for vertebra correction, and waist and pelvis exercise by double shaft rotary device and regular displacement spring	Individual	10/08/2007	Aparato
JP2007197959-A	Recycled-tire-made water-keeping block for installation at e.g. road surface, includes upper layer made and lower layer from waste-rubber-tire chips with average particle diameter of 2 mm or more and 2 mm or less, respectively	Individual	09/08/2007	Material
AU2007100563-A4	System for breaking down end of life pneumatic and solid rubber tires uses high pressure water jet as cutting device comprising of water tank, conveyor, grabbing device, high pressure water jet nozzle, water filtration device	Individual	02/08/2007	Método
JP2007190803-A	Fixation structure for fixing siping blade to tire molding die, has safety band, to fix front end of siping blade to back side of tire molding die	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	02/08/2007	Material

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
WO2007084833-A2	Modular dwelling structure kit for assembling a residential or commercial structure has base plates maintaining the panels made of recycled tire materials in predetermined configuration forming the shape of the structure	DIAM-Individual	26/07/2007	Material
WO2007079133-A2	System useful for e.g. recycling solid waste into energy comprises heated enclosure having an interior chamber and a number of internal baffles, heated rotary drum, condenser, conveyor, control valves and vacuum pump	NATURAL RESOURCE RECOVERY INC	12/07/2007	Aparato/Energética
WO2007077282-A1	Tire milling machine, forming fine granules of tire component materials for recycling, has loading cylinder, obliquely mounted milling roller and loading piston for pressing tire against cylinder	Ind- Foix Pradella (español)	12/07/2007	Aparato
KR2007068326-A	Underwater structure using waste tire capable of being formed in a large size by connecting tire columns	Individual	29/06/2007	Material
US2007144655-A1	Scrapping method for pneumatic tire, involves pulling out cord of partition layer in in-plane direction of partition layer and separating tread rubber layer adjacent to partition layer	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	28/06/2007	Método
KR732682-B1	Construction method of an elastic paving material capable of recycling resources and increasing cohesive strength	KOREA ATHLETIC IND CO LTD	27/06/2007	Material
KR732682-B1	Construction method of an elastic paving material capable of recycling resources and increasing cohesive strength	KOREA ATHLETIC IND CO LTD	27/06/2007	Material
BR200504434-A	Fabrication of railroad sleepers and girders from used tires involves cutting tire to form strips, superimposing steel core with cut strips, and fixing strips together to form planks which are embedded using rings made of recycled materials	DAMA-Individual	26/06/2007	Material
JP2007152449-A	Cutting device of waste tire, has rotor plates with cutting blades, holding blades and extraction claw, positioned at lateral sides of tire, and rotated along axis perpendicular to tire axis	Individual	21/06/2007	Aparato
WO2007061280-A1	Recycling process for tires and other plastic material, comprises immersion in kerosene or toluene bath, cryogenic cooling, treatment with ozone and screening	Ind- G ^a Toro (español)	31/05/2007	Método
RU2299807-C2	Tyre grinding plant	KUTS-Individual	27/05/2007	Aparato
RU2299804-C2	Tyre recycling complex production line	KUTS-Individual	27/05/2007	Aparato

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
JP2007126518-A	Rubber composition for pneumatic tire, is formed by reducing particle diameter of reclaimed rubber and passing obtained powder through sieve of preset mesh, by oil-pan method	BRIDGESTONE CORP	24/05/2007	Material
WO2007058560-A1	Cord reinforced tires and rubber waste recycling by initial rough crushing, cord separation and final fine crushing to form rubber powder	INST HIMICHESKOY FIZ IM NN SEMENOVA ROSS, NOVIY KAUCHUK	24/05/2007	Método
KR2007048830-A	Construction structure of rubber blocks using waste tires having construction stability	LG CHEM LTD	10/05/2007	Material
KR713125-B1	Sound absorption panel produced by using waste tires for reducing the weight and effectively cutting off heavy noise	Individual	02/05/2007	Material
WO2007040381-A1	System for recycling used tires and rubber derivatives, by conversion into light oil and gas, includes drum-form pyrolysis furnace, high pressure tube for product recovery, cooler and ionization filter	Individual	12/04/2007	Aparato/Energética
AU2007100191-A4	Traffic cone counterweight structure for e.g. providing warning effect, has preformed base placed in prefabricated mold for making integrally-formed traffic cone for injection molding of cone body	JING NAN TRAFFIC ENG CO LTD	05/04/2007	Material
JP2007069818-A	Internal pressure adjustment method for hollow particle of tire, involves pressurizing inside of container containing hollow particles, discharging gas surrounding particles and introducing high pressure controlled atmosphere.	BRIDGESTONE CORP	22/03/2007	Método
KR696065-B1	Waterproof structure of a rooftop slab and a waterproof panel thereof for waterproofing the rooftop slab by recycling waste tire chips with simple process	Individual	16/03/2007	Material
KR2007030573-A	Method for recycling waste organic matters into fuel oil by using rare-earth as a catalyst, in particular capable of increasing the recovery rate of oil products and preventing secondary pollution	KIMH-Individual	16/03/2007	Energética
US2007056668-A1	Cured tire for mounting to industrial and off-road vehicles, has toroidal shaped open cavity filled with cured and foamed elastomeric material and recyclable foamed elastomeric material alternately	SANDSTROM P H	15/03/2007	Material
JP2007063408-A	Apparatus for oil formation from waste plastic, has door provided at side wall of heating furnace, so that thermal decomposition pot is removed from heating furnace by transverse movement when door is	CPR KK	15/03/2007	Aparato

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
	opened			
WO2007026167-A1	Recycling process for making useful product involves exposing solid polymer material from previous artefact or product to fluid treatment medium; combining surface-activated polymer with binder or matrix material; and curing/drying/setting.	HAYDALE LTD	08/03/2007	Método
CN1923486-A	Method and apparatus for preparing rubber powder by using waste and old tyre based on water jet flow technology	CHEN B- Individual	07/03/2007	Método y Aparato
US7186449-B1	Construction material e.g. utility pole made from recycled rubber tire consists of flexible strips, which are helically wound upon one another by anchor or rod to form cylindrical pole e.g. tire pole	Individual	06/03/2007	Material
BR200502870-A	Recycling method for any type of rubber involves passing smoke and gases through three ducts such that air that escapes through chimney has low amount of inert gases and has no particulate material	COMERCIAL PREVENIR LTDA	06/03/2007	Método
US7182285-B1	Tire rubber granulator for comminuting and disintegrating solid material, has opening formed between two close-off skirts, where opening is adjustable, and granulator grinds rubber in bead area along with rest of scrap tire	FLINTWOOD METALS INC	27/02/2007	Aparato
JP2007038056-A	Crushing separation apparatus of waste tire, has pair of crushing blades in lower region of casing arranged corresponding to arrangement of pair of crushing blades in upper region of casing	NC KOGYO KK	15/02/2007	Aparato
JP2007039534-A	Thermal decomposition oil-generation apparatus for use in recycling plastic, has condenser cooling thermal decomposition gas, that has primary and secondary units detachably attached through fastener	CPR KK	15/02/2007	Energética
JP2007031951-A	Bottom-board material e.g. matting for cooling of footpath has binders, rubber chip of waste tire and natural zeolite grain mixed with predetermined percentage	Individual	08/02/2007	Material
JP2007029908-A	Crusher for waste material such as industrial waste e.g. old tire has strip-like comb-shaped member arranged along rotation direction of rotary blade to form gap thus allows passing through of cord-like portion of crushed material	mitsui miike SEISAKUSHO KK	08/02/2007	Aparato

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
US2007022676-A1	Roof object support system for supporting vibrating roof object e.g. pipe includes a support block formed as a single piece of a self-dampening elastomeric material supported between a roof object and the roof.	KROVATS N- Individual	01/02/2007	Material
WO2007011249-A1	Fibrous additive for bituminous mixes useful in road pavements, comprises carded textile cord from rubber products of automobile tire, that contains specified amount of ground rubber.	INST BADAWCZY DROG I MOSTOW	25/01/2007	Material
KR673055-B1	Multipurpose permeable paving material for improving strength by spraying a sealer after pouring and compacting large sand	CHUNSAN IND CO LTD	22/01/2007	Material
US2007000768-A1	Recycling system for recycling waste into energy comprises heated rotary drum, input and discharge control valves, input and discharge conveyors, and vacuum pump for maintaining selected vacuum between input valves and discharge valves	Individual	04/01/2007	Método/Energética
JP2006349224-A	Waste tire recycle apparatus has microwave oscillator for preheating waste tire supplied to rotary kiln to thermally decompose waste tire into gas, steel and char	SHIRAKAWA NAMACON KYOGYO KUMIAI	28/12/2006	Aparato
KR2006133133-A	Recirculation device of infiltrated water in the reclaimed land by using a waste tire chip and a method thereof for promoting the stabilization of the reclaimed land	UNIV SEOUL NAT TECHNOLOGY CENT IND RE TECH SOLUTION CO LTD	26/12/2006	Material
KR657561-B1	Displacement preventing system of a vehicle installed in a shoulder of a road for protecting a driver and the vehicle by sequentially absorbing shock	Individual	14/12/2006	Material
JP2006326383-A	Recycle processing of scrap car used as scrap steel plate of electrofurnace, involves reacting iron surface of heated scrap-car component with super heated steam and forming rust proofing film of iron oxide	TERABOND KK	07/12/2006	Método
KR2006120865-A	Drying system of an inflammable waste and a drying method of the inflammable waste using the drying system, for reducing cost by using the drying gas as the purple oxide reduction gas.	DONG SAN S & R CO LTD	28/11/2006	Método
WO2006123195-A1	Production method of insulating building units using plastic and/or rubber waste, involves cutting rubber waste into pieces before grinding.	Individual	23/11/2006	Material

N° solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
WO2006120514-A1	Producing recyclable rubber pellets from used tires, by separating tread from sidewalls, cutting tread transversely, chopping obtained tread strips to form pellets and chopping sidewalls to form further pellet		16/11/2006	Material
KR645803-B1	High efficiency pyrolysis reactor and recycling system of used tire using cascaded conveyor system of residue, and recycling method thereof	KOREA ELECTRO TECHNOLOGY RES INST	14/11/2006	Energética
US2006249021-A1	System useful in e.g. gasification system for producing combustible fuel gases comprises an ash support member disposed below first opening of a combustor so as to provide an unobstructed ready path for ash removal	Individual	09/11/2006	Aparato/Energética
JP2006307449-A	Laying utilization method of waste tire, involves accommodating solid substance in bag, packing bag in cavity of waste tire, and laying portion(s) of tire underground.	BRIDGESTONE CORP	09/11/2006	Material
JP2006305718-A	Cutting device of tire e.g. used tire, has rotation tooth, support unit, and pressing unit for pressing both sides of cutting location of tire on support unit side, such that tire positioned between pressing units is cut by tooth	MARUZEN AUTO YG	09/11/2006	Método
KR2006115066-A	Braille leading block for forming an inner block by recycling waste vinyl or waste tires and preventing slip or breakage with a cushion projection plate	PRIME TECH CO LTD	08/11/2006	Material
KR636704-B1	Elastic pavement construction method for improving permeability and an elastic paved layer thereof for absorbing water in the ground	GREEN LOAD INC	20/10/2006	Material
WO2006108904-A1	Apparatus for modifying bitumen by uniformly incorporating waste rubber, for use e.g. in road-making asphalt aggregates, comprises premixer, intermediate tank and external mixer with recycling valve	Individual	19/10/2006	Aparato
WO2006107158-A1	System for retreading tire comprises container type box having power supply line, power connection part connected with an external power source, and an entrance; and tire retreading part mounted inside the container type box	Individual	12/10/2006	Recauchutado
RU2284908-C1	Method of tyre cutting.	UNIV JAROSLAV TECH	10/10/2006	Método

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
KR2006104255-A	Method and a device for manufacturing pig iron by using a waste tire as a heat source and a reducing agent for recovering solid iron and iron cores from the waste tire.	DONG SAN S & R CO LTD	09/10/2006	Método / Material
KR630863-B1	Noise reducing material between floors in a building and a composition thereof for recycling waste polyester cord and effectively absorbing noise/vibration	HUMAN NATURE TECH	02/10/2006	Material
KR628890-B1	Recycling system for waste tire employing waste tire pyrolysis unit, pyrolyzed product treatment unit, oil collection unit, carbon treatment unit, and ventilated gas treatment unit.	ACE CO LTD	27/09/2006	Energético
KR2006101703-A	Playground base construction method paving a ground surface with blocks or a mat and paving the surface with a chip throughout, thereby obtaining superior impact absorption efficiency	CONSTRUCT & ENVIRONMENT	26/09/2006	Material
US2006211899-A1	Waste processing rubber tires into e.g. carbon black, and fuel oil involves feeding rubber tires into reaction chamber having deoxygenated environment; adding catalyst; and pyrolysing tires.	Individual	21/09/2006	Energético
RU2283760-C2	Material disintegration method and device.	Individual	20/09/2006	Método
US7108794-B1	Treating storm water with fluid treatment system involves cementing axially aligned used tires with industrial glue; attaching plastic/metal strap; gluing plastic foam peanuts/wood chip filled mesh bags to tire openings; and directing water.	Individual	19/09/2006	Material
KR2006091151-A	Shock absorbing materials of a floor for preventing the interlayer noise of a building.	Individual	18/08/2006	Material
KR610748-B1	Device for producing color rubber blocks, improving productivity and economical efficiency through continuous production of the color rubber block	K MATS MFG LTD	11/08/2006	Material
KR2006086543-A	Noise isolator and a manufacturing method thereof, for excluding interlayer noise and preventing the outflow of poisonous substances.	SE-WANG EMC CO LTD	01/08/2006	Material
AU2005227358-A1	Continuous thermolysis of scrap rubbers and waste plastics for converting into hydrocarbon fuel involves using sealed thermolysis reactor with material to be depolymerized under a bath of molten metal/salts, condenser and magnetic separator.	SORENTINO C - Individual	20/07/2006	Energética
WO2006074247-A2	Treating method for vulcanized rubber by conducting aqueous stream into an ultrasonic treatment zone and is subjected to ultrasonic energy prior to conductance to a hydraulic updraft column.	EAU VIRON INC	13/07/2006	Método

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
US2006153638-A1	Construction providing method for use in e.g. riverbank, involves cutting upper sidewalls from tread portions of two waste tires, and stacking tires on one of cut upper sidewalls into stack with lower sidewalls.	Individual	13/07/2006	Material
KR597876-B1	Bio-permeable reactive barrier using microorganism immobilized waste tire flakes as a biological carrier for recycling waste resources disused.	DAISUNG GREEN TECH CO LTD	06/07/2006	Material
KR2006078313-A	Tire recycling apparatus and method thereof including tire supplying device, reactor, hydrocarbon collecting device, carbon black/scrap iron selector, carbon black collector, scrap iron collector and heat exchanger.	KOREA ELECTRO TECHNOLOGY RES INST	05/07/2006	Aparato y Método
US2006130704-A1	Preparation of synthetic asphalt recycled tire rubber emulsion and modified synthetic asphalt tire rubber emulsion used as roof coating, involves adding synthetic asphalt recycled tire rubber base mixture to chemical clay in water mixture	Individual	22/06/2006	Material
JP2006158208-A	Abalones culturing facility uses worn out tires that are cut at required width for use as feed opening lid, are used to match with growth and transport of abalones	Individual	22/06/2006	Material
KR2006063101-A	Roofing tile using waste tires for weighing light and having high heat-retaining property	SAEBUK ORIENTAL ENC CO LTD	12/06/2006	Material
RU2277473-C1	Method of recycling worn tires to broken rubber crumbs.	COMPUTER DES CONS CO LTD	10/06/2006	Método
US2006118671-A1	Tire size reduction and wire separation system for recycling scrap tire, has supplemental plate and wear ring that define passageway for movement of small material from upper region to lower region of housing	COLUMBUS MCKINNON CORP	08/06/2006	Método
JP2006137879-A	Manufacture of alternative supplementary fuel such as refuse derived fuel, involves mixing additive and combustible waste material, mixing oil, waste tire powder, cement, zeolite powder, additive and hardener, and molding resulting mixture	ZERO PROJECT KK	01/06/2006	Energética
KR2006057991-A	Interlayer noise insulation flooring capable of using for thermal insulation and interlayer noise insulation by mixing charcoal powder and yellow soil charcoal with waste tire chips, diluting gum water and shaping in a flat board	Individual	29/05/2006	Material

N° solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
KR582948-B1	Recyclable by-product separating device for wasted tire of thermal decomposition for maximizing safety, preventing environmental contamination	SEIL ENVIRONMENT CO LTD	26/05/2006	Energética
IN200600211-I4	Tire pyrolysis oil as alternate for diesel engines	RAJALAKSHMI ENG COLLEGE	19/05/2006	Energética
KR578905-B1	Method for repairing a flat tire for preventing environmental pollution by repairing and recycling a waste tire and decreasing defect of the tire.	Individual	11/05/2006	Material
CN1768580-A	Artificial fishing reef made by waste tyre	Individual	10/05/2006	Material
KR2006035501-A	Manufacturing method of a manhole cover using color chips and the manhole cover capable of harmonizing with the surroundings and giving walking easiness to pedestrians	CITY & ENVIRONMENT CO LTD	26/04/2006	Material
WO2006041448-A1	Molding pallet used to support goods for lifting using forklift and for shipping involves mixing with crumb rubber mix ground polyethylene, ground Kraton polymer, thermoplastic elastomer, foaming agent or plastic adhesive in heated chamber.	WALTER PALLETS LLC	20/04/2006	Material
WO2006037225-A1	Pyrolysis apparatus to separate e.g. methane from waste rubber comprises heating oven; condenser; conduit having two opposed injectors; tank; and re-circulation line with pressurizing device to spray cooled liquid components into conduit	AFAB TECHNOLOGIES LTD Final del formulario	13/04/2006	Aparato/Energética
WO2006038899-A1	Worn rubber tires recycling by mixing with petroleum processing waste products and heating to swollen and soft state.	Individual	13/04/2006	Método
CN1754905-A	Process for obtaining odorless regenerated rubber from waste tyre by decomposition method.	SHANGHAI XIAOYOU RUBBER CO LTD	05/04/2006	Método/
JP2006083310-A	Recycling of resin-containing waste material e.g. waste tire, involves thermally decomposing waste material using water vapor of preset temperature, recovering oil and/or gas, and controlling composition and/or recovery of gas and/or oil	NIPPON STEEL CORP	30/03/2006	Energética
US7017347-B1	Electricity generating method for use in fuel gas generator system, involves generating hydrogen gas from steam in vessel, feeding gas to steam-producing boiler, and generating electricity from steam in boiler.	Individual	28/03/2006	Método/Energético

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
CA2481743-A1	Recycling thermoset elastomers, particularly from discarded tires, to produce rubber coatings, as filler for rubber articles or in asphalt, comprises adding fatty acid ester compound.	Individual	24/03/2006	Método
JP2006076801-A	Manufacture of graphite from waste tire, involves isolating tire to mixed solid component, combusting solid component, removing ash component and metal component from nonflammable component, and sintering remaining carbon component	DAISHIN KENSETSU KK	23/03/2006	Valorización residuos pirólisis
JP2006075711-A	Rubber composition contains powdered rubber obtained by pulverizing rubber chip, adsorbing dust, collecting and subjecting pulverized particle to secondary-grinding process and supplying pulverized material to filter of predetermined mesh.	BRIDGESTONE CORP	23/03/2006	Método
KR2006023278-A	Recycled paving material using waste tires and a manufacturing method thereof for securing strength against impact and good elasticity by crushing the waste tires into particles.	ECOTECH CO LTD	14/03/2006	Material
NL1027019-C6	Recycling method for e.g. crop cultivation nets, tyres or agricultural films, comprises cutting object into pieces and sorting into useful material.	Individual	13/03/2006	Método
KR2006014995-A	Method for manufacturing materials for agricultural and livestock industry without sorting process of industrial waste using waste resources.	Individual	16/02/2006	Material
JP2006044209-A	Method for recycling vulcanized waste rubber, involves evaluating raw material for recycling in advanced country using potential value, and performing stocking operation of raw material in underdeveloped country, based on evaluation result.	Individual	16/02/2006	Método
DE102004022205-A1	Recycling elastomers to recover carbon black comprises pyrolysis in a microwave-heated reactor filled with a large proportion of inert material	INVERTEC EV	09/02/2006	Valorización residuos pirólisis
JP2006038344-A	Combustion apparatus of flame-retardant waste material, has combustion furnace having buffer band formed between inner wall face and combustion gas, and conveyor unit with notch	Individual	09/02/2006	Aparato/Energética
JP2006034269-A	Fishing bank forming method for creating a fish catching area by connecting waste rubber tire tight connection material to the waste rubber tires which are mounted to the framework material through a rope.	Individual	09/02/2006	Material

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
BR200203986-A	Manufacturing method for composite concrete product e.g. fence block, involves adding discarded rubber tires and other wastes e.g. clay, limestone, to mass of concrete	Individual	07/02/2006	Material
KR2006004112-A	Vibration-proof and soundproof bottom materials for buildings and method for manufacturing same bottom materials.	KEYCONS WORLD CO LTD	12/01/2006	Material
WO2005121278-A1	Installation and method for producing combustible substances by depolymerisation of gum products.	ROMANA MACERI CENT ITAL SRL	22/12/2005	Energética
US2005279965-A1	Forming composite product e.g. sound attenuation board involves producing rubber crumb by recycling used tires; producing plastic particles from plastic material; producing asphalt from waste oil/slop oil; and combining them.	Individual	22/12/2005	Material
KR535743-B	The strut assembly for trees using wasted tires for the housing complex	YOO IL ENG & ARCHITECTS CO LTD	09/12/2005	Material
FR2871090-A1	Procedure for making articles from recycled rubber consists of reducing rubber to powder which it put into mold and heating in two stages	Individual	09/12/2005	Material
KR2005113048-A	Shock-absorbing composition for preventing inter-floor noise and method for forming soundproof floor using shock-absorbing composition.	Individual	01/12/2005	Material
WO2005108525-A1	Scrap tyre recycling process, comprises thermolytic treatment for generating carbon containing material, condensable oil fractions and non condensable gases	CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACIONES CIENTIF	17/11/2005	Energética
AU2005201164-A1	Construction element for forming wall used in e.g. temperature controlled building such as a chiller room, includes core, formed from bales of recycled vehicle tyres, that is sandwiched between reinforced concrete outer sections.	LOMWEST ENTERPRISES PTY LTD	06/10/2005	Material
KR2005086018-A	Manufacturing method of insulated board using waste tire, especially related to method for manufacturing insulated board by foaming waste tire together with polyurethane foam and compressing the foam material.	DAWOO CHEMITECH	30/08/2005	Método

Nº solicitud	Título	Solicitante	Fecha publicación	Temática
KR2005081565-A	Buffering and sound insulating board for absorbing impact and shutting off sound by plural pointed projections and a manufacturing method thereof.	Individual	19/08/2005	Material
KR2005079090-A	Inter-floor soundproof material of apartment building and method for manufacturing the same soundproof material.	ACOUSTIC & VIBRATION TECHNOLOGY CO LTD	09/08/2005	Material
KR2005078381-A	Fusion method for reproducing waste tire, which is effective in restoring waste tire to original rubber materials.	DAEWOO COMMUNICATIONS CO LTD	05/08/2005	Método
KR2005075239-A	Elastic bollard for reducing the impact by elasticity using an elastic member	Individual	20/07/2005	Material
KR2005051958-A	Elastic body and waterproof and vibration-proof system of roof using same elastic body like waste tire chips that recycle waste materials	Individual	02/06/2005	Material
KR2005040593-A	Soundproofing panel comprising laminate consisted of plural waste tire compressed materials and glass fiber interposed there between and formed in multilayered body of one or more layers and method for reducing blasting noise of tunnel.	GS ENG & CONSTR CORP	03/05/2005	Material

Anexo IV. Grupos de investigación

Criterio de Búsqueda	Tecnología	Instituciones	
		2000-2006	2006-2008
(Tire* OR tyre*) AND recycl*	General	Indian Institute Technol.	
		CSIC	CSIC
		Middle E Tech. University	Gyeongsang Natl Univ
		George Washington Univ.	Ecole Mines Ales
		Tampere Univ. Technol.	Natl Inst Environm res
		Univ. Leeds	Tech Univ Catalonia
		Univ. Liverpool Univ. Massachusetts	
AND grinding*	Molienda	Canadian Rubber Testing & Dev. Ltd.	
		Dalian Univ. Technol.	CNR
		Ducan A Mackillop & Associates	Univ Brasilia
		Indian Inst. Technol.	Univ Minho
		Natl. Res. Ctr.	Univ Pisa
		Univ. Brasilia Univ. Minho	
AND reclaim*	Recuperación	Indian Institute technol.	
		Canadian Rubber Testing & Dev. Ltd.	
		Chalmers Univ. Technol.	
		Chonbuk Natl. Univ.	Univ Twente Netherlands
		Chulalongkorn Univ.	Cochin Univ Sci & Technol
		Ducan A Mackillop & Associates	Japan
		King Mongkuts Univ. Techol. Thonburi	
		Natl. Res. Ctr. Natl. Univ. Singapore Sultan Qaboos Univ.	
AND devulc*	Desvulcanización		Univ Twente Netherlands
			Cochin Univ Sci & Technol
		Uni. Akron	Ecole Mines Ales
		Indian Institute Technol.	Indian Inst Technol
			Sichuan Univ
AND pyrolysis*	Pirólisis		CSIC
		CSIC	Environm Canada
		Univ. Leeds	Hyundai Motor Co & Kia
		Escuela Ing. Bilbao	Motors Corp
			Inst Chem Przewozki Wegla Natl Inst Environm Res

Anexo V. Tesis doctorales OAISTER

TITULO	AUTOR	FECHA	NOTA
Absorption Mats for Oil Decontamination- Towards Sustainable End-of-Life Tyre Management	Aronu, Ugochukwu Edwin	22-08-2007	The research consisted of two parts. Firstly, theoretical reviews which involved an extensive literature review of oil decontamination practice and methods of doing it. Review of tyre rubber granulate properties and consultations with experts/agencies involved in oil decontamination operations in Sweden where mostly physical methods such as use of absorbents on land and booms on water. The second component of the research is an experimental part which involved laboratory test of the absorption properties of tyre rubber granulate at University College of Borås (HB) in which granules of sizes 0.50, 1.00 and 2.00 mm were tested on different oil samples; gasoline, diesel and motor oils. Environmental properties tests were also conducted at the Swedish Technical Research Institute (SP) where metal and organic contents of the granules and its leachate were tested.
Aproveitamento industrial da borracha reciclada de pneus usados	Campos, Paulo da Silva	18-04-2007	In this work the legislation that implements the Portuguese SGPU is analyzed considering its feasibility, opportunity, limits and incoherencies. The solution chosen in Portugal is compared with options from other countries. In this work it is also evaluated the use of industrial low cost techniques and easy procedures which could allow for the consumption of huge amounts of rubber resulting from tyre recycling and represent economical and environmental efficient solutions for the valorization of these recycled.
Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo; Concrete paving interspersed with tire residues as alternative material	Fioriti, Cesar Fabiano	01-06-2007	This work was developed with the objective of studying some of the properties of concrete paving, with partial substitution of the aggregate for tire residues. For the production of pavers the bands of Portland cement consumption was considered at 292,84 kg/m ³ , 323,06 kg/m ³ and 347,00 kg/m ³ , and the levels of residues incorporation at 8%, 10%, 12%, 15% and 20%, in volume. The studied properties were: compressive strength, water absorption, impact resistance, deep abrasion and expansion resistance to humidity.
Obtenção e caracterização de blendas de CAP 20 modificadas com poliestireno reciclado e resíduos de pneu	Fausto Rodrigues Júnior	26-05-2006	This research describes the attainment and the characterization of the blends with asphaltmatrix (CAP20) modified with recycled powder of polystyrene (PS) and also worn out rubberresidues of tires (BPM).

TITULO	AUTOR	FECHA	NOTA
Estudo da viabilidade de incorporação de borracha moída de pneus em asfaltos para impermeabilização na construção civil.; Incorporation of scrap tire rubber into asphalts for roofing.	Monea, Rosa Maria Jazra	30-03-2006	This work presents a comparison of properties between a CAP-20 asphalt and the same CAP modified using different kinds of rubbers, as a way to evaluate an alternative to minimize the environmental problems related to the disposal of used tires. Mixtures with 4, 8 and 12 wt% of SBS and two different particle size of scraped tire were prepared. The behaviors of these mixtures were evaluated by penetration, softening point, phase separation, tensile strength, elongation, flexibility, permanent deformation and elastic recovery tests.

