

Trabajo de Fin de Grado.

Reutilización De Neumáticos Fuera De Uso.

Departamento de Ingeniería Química y
Tecnología Farmacéutica.

Autor: Sergio Santiago Rodríguez

Illescas. DNI:78635575-R

Tutor: María Teresa García Rodríguez.

INDICE:

1. Resumen	Pag. 4
2. Abstract	Pag. 5
3. Objetivos	Pag. 6
4. Introducción	Pag. 7
<i>4.1. Evolución histórica de neumático.</i>	Pag. 7
<i>4.2. Estructura de un neumático.</i>	Pag. 8
<i>4.3. Composición de un neumático.</i>	Pag. 10
5. Demanda actual de neumáticos.	Pag. 11
6. Normativa y marco legal en España con respecto a los NFU.	Pag. 13
<i>Artículo 1: Objeto y ámbito de aplicación.</i>	Pag. 13
<i>Artículo 2: Definiciones.</i>	Pag. 14
<i>Artículo 3: Planes empresariales de prevención de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 16
<i>Artículo 4: Obligaciones del productor de neumáticos.</i>	Pag. 17
<i>Artículo 5: Obligaciones de los generadores y poseedores de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 19
<i>Artículo 6: Obligaciones de los gestores de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 19
<i>Artículo 7: Almacenamiento y eliminación de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 20
<i>Artículo 8: Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 21
<i>Artículo 9: Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 23

<i>Artículo 10: Información a las Administraciones públicas.</i>	Pag. 25
<i>Artículo 11: Régimen sancionador.</i>	Pag. 28
<i>Anexo: -Condiciones técnicas de las instalaciones de almacenamiento de neumáticos fuera de uso.</i>	Pag. 32
7. Métodos de reciclajes de NFU.	Pag. 35
<i>7.1. Trituración mecánica.</i>	Pag. 35
<i>7.2. Trituración criogénica.</i>	Pag. 37
<i>7.3. Incineración.</i>	Pag. 37
<i>7.4. Producción de electricidad y vapor</i>	Pag. 40
<i>7.5. Termólisis, pirolisis y gasificación.</i>	Pag. 41
<i>7.6 Aprovechamiento de las propiedades de los neumáticos en otras áreas.</i>	Pag. 43
<i>7.6.1. Fabricación de césped artificial</i>	Pag. 44
<i>7.6.2. Impermeabilización de todo tipo de suelos.</i>	Pag. 44
<i>7.6.3. Aprovechamiento de NFU en la construcción de terraplenes en España.</i>	Pag. 45
<i>7.6.4. Aditivo para la construcción de carreteras.</i>	Pag. 48
<i>7.7. Recauchutado.</i>	Pag. 50
<i>7.8. Regeneración del caucho.</i>	Pag. 51
8. Sistemas integrados de gestión y situación de los NFU en España.	Pag. 54
<i>8.1. Principales Sistemas Integrados de Gestión en España</i>	Pag. 57
<i>8.2. SIGNUS.</i>	Pag. 61
<i>8.3.TNU.</i>	Pag. 66

9. Situación de NFU en Canarias.	Pag. 71
10. Vertederos.	Pag. 74
11. Conclusiones.	Pag. 80
12. Conclusions.	Pag. 83
Anexo: términos y acrónimos empleados.	Pag. 84
Bibliografía.	Pag. 87

1. Resumen.

Desde el descubrimiento del proceso de vulcanizado del caucho y su posterior implementación en la industria automovilística en forma de neumáticos, la demanda de estos no ha hecho sino aumentar desde entonces, esto ha tenido como consecuencia el aumento de los neumáticos viejos, gastados o dañados que deben ser sustituidos y, por consiguiente, desechados cada día. Este trabajo de fin de grado estudiará la evolución de esta demanda de neumáticos de reposición a escala global y europea centrándonos en la situación de España. También se establecerá la legislación en materia de neumáticos fuera de uso que se encuentra vigente en este país. Otro aspecto que se analizará serán las técnicas empleadas para el aprovechamiento de este tipo de residuos, así como de las entidades más importantes situadas en territorio español encargadas de la gestión de neumáticos desechados. Finalmente se analizará la situación global de los neumáticos fuera de uso en Canarias y los riesgos y peligros que conllevan los vertederos de neumáticos tanto para la salud como para el medio ambiente.

2. Abstract

From the discovery of vulcanization process to its implementation in automobile industry in form of tires. The demand of this product has been rising ever since, making the number of old, run-off or damage tires that have to be replaced and throw away increase too. This final degree project will study this evolution in the demand of new tires in global and European markets, with special attention of its situation in Spain. It also will establish the legislative framework in this country for wasted tires. Other aspect that will be analyzed are the different techniques use for the exploitation of this kind of waste and the organizations in Spanish territory involved in the management of used tires. Finally, the global situation of waste tires in Canary Islands will be analyze as well the risk and dangers provoked by tire landfills in health and in the environment.

3. Objetivos.

Los objetivos que persigue cumplir este trabajo de fin de grado son:

Establecer la evolución, composición y estructura general interna de los neumáticos, así como la demanda de nuevos neumáticos e introducción de estos en el mercado de reposición, ya que esto repercutirá en el número de neumáticos descartados como basura en un futuro.

Estudiar en que situación se encuentran los neumáticos fuera de uso (NFU) en el territorio español, destacando especialmente la situación de estos residuos en el archipiélago canario.

Analizar los procesos y métodos empleados para llevar a cabo el reciclaje, reutilización o valorización de los NFU, así como de sus principales ventajas e inconvenientes.

Establecer el marco legislativo actual que regula a los neumáticos fuera de uso y a los agentes económicos que los administran y regulan.

Definir a las organizaciones implicadas en la gestión de estos NFU.

Explicar la situación que acompañan a los vertederos ilegales y los problemas y riesgos que entrañan su existencia.

4. Introducción.

4.1. Evolución histórica del neumático.

El neumático como se conoce hoy en día ha seguido un proceso evolutivo que empezó con el descubrimiento del vulcanizado por Charles Goodyear en 1839. Unas décadas más tarde, en 1887, John Boyd Dunlop introdujo la cámara de aire lo que permitió el ahorro de material frente a los neumáticos macizo y no fue hasta 1891 cuando el neumático pudo adaptarse completamente al mundo automovilístico gracias a la introducción por parte de los hermanos Michelin de los neumáticos desmontables.

En 1909 Friedrich Hofmann desarrolla y patenta el primer caucho sintético el cual en un futuro sería extensamente empleado durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) debido principalmente a la escasez de caucho natural por el aumento de su demanda con fines bélicos. En 1910 se mejoró las características y rendimiento de los neumáticos mediante la adicción de negro de carbón para resistir la abrasión y se introdujo un aro metálico en el talón con el fin de mejorar la rigidez.

Tras la Primera Guerra Mundial el empleo de caucho sintético disminuyó, sin embargo, se siguió desarrollando la tecnología para su obtención y la mejora de sus propiedades. En 1937 Michelin introduce la carcasa de acero que confiere rigidez y resistencia a la presión en los neumáticos.

Tras la Segunda Guerra Mundial el aumento incesante de la demanda de neumáticos debido al crecimiento del parque automovilístico hizo que el caucho natural fuera sustituido casi por completo por el caucho sintético en el proceso de producción de neumáticos con el fin de poder abastecer la demanda. En 1946, Michelin inventa los neumáticos de estructura radial los cuales son los empleados hasta hoy en día por la industria de la automoción. En los años 80, Pirelli inventa los neumáticos de perfil bajo lo que permite la disminución de los flancos de los neumáticos. ^[1]

4.2. Estructura de un neumático.

En la actualidad los neumáticos están compuestos por seis partes ^[2]:

- Banda de rodadura: es la parte que se encuentra en contacto directo con el suelo, está compuesto por una serie de gomas adherentes resistentes a la abrasión y al desgaste. La parte en la que se une a los flancos se denomina hombro y está especialmente reforzada por ser la parte más expuesta a los golpes.
- Cinturones o lonas de cima: lo forman cables de acero entrecruzados en forma de triángulo y confieren robustez y flexibilidad a los neumáticos.
- Lonas de carcasa: están formados por cables textiles dispuestos en ángulos rectos. Es la parte

del neumático que le permite resistir la presión a la que son sometidas durante su uso.

- Talón: es la parte del neumático encargada de ajustar el neumático a la llanta y evitar que patine en ella. Está compuesta por cables de acero trenzado en forma circular.
- Revestimiento interior: es la capa más interna del neumático y su función es la de garantizar la estanqueidad del neumático y evitar las pérdidas de aire hacia el exterior.
- Flanco: se compone de goma flexible para adaptarse a las deformaciones sufridas por el neumático en la fase de rodadura. La zona que une el flanco con el talón se denomina zona baja.



Figura 4.1 Diagrama de un neumático con sus partes. ^[3]

4.3. Composición de un neumático.

Un neumático está formado por más de 200 compuestos químicos diferentes ^[4]. De entre todos ellos destaca el caucho (siendo generalmente empleada una mezcla de caucho natural y sintético) así como otros aditivos como pueden ser el negro de carbón o refuerzos estructurales formados por las mallas de acero o textiles. Por otro lado, su composición en tanto por ciento en peso puede variar entre marcas y/o lugares de fabricación, sin embargo, suelen encontrarse entre los siguientes valores:

Elemento	% en peso /Concentración
Carbono (C)	70-83 %
Hidrogeno (H)	5-7.5 %
Azufre (S)	1-3 %
Cloro (Cl)	0.1-0.8 %
Hierro (Fe)	5-18 %
Óxido de Zinc (ZnO)	1.2-2.7 %
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5 %
Cromo (Cr)	97 ppm
Níquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio (Cd)	5-10 ppm
Talio (Tl)	0.2-0.3 ppm

Tabla 4.1. Concentraciones de elementos presentes en neumáticos. ^[5]

5. Demanda actual de neumáticos.

El mercado mundial de neumáticos ha experimentado un crecimiento más o menos ininterrumpido desde hace años, datos de 2009 sitúan las cifras de neumáticos introducidos en el mercado de reposición en 1.1 billones de unidades ^[6], en 2010 esta cifra ascendió a los 1.5 billones de neumáticos nuevos ^[7], si bien es cierto que los años 2012 y 2013 demostraron una fuerte caídas en estas cifras debido principalmente a la crisis económica y su efecto en la industria automovilística ^[8], los años 2015 y 2016 han sido favorables a estas industrias y han permitido un repunte en las cifras del mercado de neumáticos de reposición ^[9].

Para el primer cuarto de año 2017, se espera que 62,3 millones de unidades sean introducidas en el mercado europeo de reposición, esta cifra engloba los neumáticos destinados tanto a coches (ya sean turismos, SUVs, etc.), camiones, tractores y motos. Esto representa una subida prácticamente generalizada, como se muestra en la tabla 5.1., de todos los tipos de neumáticos con respecto a los datos de venta de neumáticos en el primer cuarto del año anterior en el cual se vendieron aproximadamente 59,4 millones de neumáticos en total, de los cuales se estima que aproximadamente 20 millones de unidades fueron vendidas en España ^[10].

Tipo de neumático	Unidades introducidas en el mercado de reposición de neumáticos en el 1º Cuarto de 2016	Unidades introducidas en el mercado de reposición de neumáticos en el 1º Cuarto de 2017	Incremento
Coches y semejantes	53.309.000	55.459.000	4%
Camiones y semejantes	2.278.000	2.617.000	15%
Tractores y semejantes	404.000	406.000	0%
Motos y semejantes	3.433.000	3.686.000	8%

Tabla 5.1. Evolución del mercado europeo de neumáticos en el primer cuarto de año 2016 y 2017 ^[11]

6. Normativa y marco legal en España con respecto a los NFU.

La gestión de neumáticos fuera de uso en el ámbito nacional español está regulada por el *Real Decreto (R.D.) 1619/2005 de 30 de diciembre* ^[12], este documento parte de la *Ley 10/1998 de 21 de abril* sobre residuos, la cual a su vez deriva de la *directiva comunitaria 91/156/CEE* que es modificación de la *directiva 75/442/CEE*. Debido a las características especiales de los NFU descritas en la *Ley 10/1998 de 21 de abril*, se ha requerido una legislación específica para evitar su incidencia nociva en el medioambiente por lo que este R.D. nace para establecer y legislar en este ámbito. Este documento se divide en once artículos y un anexo que regulan las obligaciones y derechos de las entidades que generen, gestionen, procesen o estén relacionados con los neumáticos fuera de uso.

A continuación, se establecen de forma íntegra los artículos y secciones de este real decreto.

-Artículo 1: Objeto y ámbito de aplicación.

Este real decreto tiene por objetivo, prevenir la generación de neumáticos fuera de uso, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión, y fomentar, por este orden, su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente.

Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 7.2, quedan incluidos en el ámbito de aplicación de este real decreto los neumáticos puestos en el mercado nacional, con excepción de los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior sea superior a mil cuatrocientos milímetros.

-Artículo 2: Definiciones.

A efectos de este real decreto se entiende por:

- a) Neumáticos fuera de uso: neumático que se ha convertido en residuo según lo dispuesto en el artículo 3a de la *Ley 10/1998 del 21 de abril*.
- b) Productor de neumáticos: persona física o jurídica que fabrique, importe o adquiera en otros estados miembros de la Unión Europea (U.E.) que sean puestos en el mercado nacional.
- c) Generador de neumáticos fuera de uso: persona física o jurídica que por la actividad empresarial o de cualquier otro tipo genere NFU, no se considerara al usuario o propietario del vehículo que los genere como perteneciente a esta categoría.
- d) Poseedor: entidad o persona (ya sea física o jurídica) que sea dueño pero que no tenga la condición de gestor de NFU.
- e) Gestor de NFU: persona física o jurídica autorizada y que realice cualquier operación de gestión de NFU.

- f) Gestión de NFU: es toda actividad recogida en el artículo 3.h de la *Ley 10/1998 del 21 de abril* que hagan referencia a neumáticos fuera de uso.
- g) Recauchutado: proceso en el que se sustituye la banda de rodamiento de un neumático usado pero cuya carcasa se encuentra en las condiciones óptimas para su reutilización según las normas y reglamentos vigentes.
- h) Neumáticos de reposición: todo neumático que es puesto en el mercado por primera vez para sustituir a los neumáticos usados.
- i) Primera puesta en el mercado: primera vez que un neumático es objeto de transmisión en el territorio nacional mediante un acto de enajenación debidamente documentado.
- j) Agentes económicos: en este grupo se encuentran los productores, distribuidores o recauchutadores de neumáticos, los talleres de cambio y reparación, así como los productores de vehículos, centros autorizados de descontaminación de vehículos o gestores de NFU.
- k) Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso: es el conjunto de relaciones, procedimientos, mecanismos y actuadores autorizadas y supervisadas por las comunidades autónomas en las que se traten de implementar por la que productores de neumáticos u otros agentes que se quieran adherir mediante acuerdos voluntarios o instrumentos de

responsabilidad compartida, garanticen la correcta gestión de los NFU.

Para el resto de términos empleados se aplicarán las definiciones contenidas en la *Ley 10/1998 del 21 de abril*.

-Artículo 3: Planes empresariales de prevención de neumáticos fuera de uso.

1. Los productores de neumáticos deberán realizar y remitir a las comunidades autónomas (C.C.A.A.) donde desarrollen su actividad un plan empresarial de prevención de NFU que deberá incluir al menos: identificación de mecanismos de aplicación para alargar la vida útil del producto o que faciliten su reutilización y el reciclado u otras formas de valorización aplicable. De esta forma se persigue minimizar la afección en el medio ambiente de este residuo. En el caso de importadores o adquirientes en otros estados miembros de la U.E. el plan podrá contener tanto las medidas según criterios comerciales propios como las adoptadas por la empresa fabricante.

2. Los planes empresariales referidos en el apartado anterior deberán presentarse en un plazo de dieciocho meses tras la entrada en vigor de este R.D. y deberán ser renovados cada cuatro años.

3. Las medidas incluidas en los planes empresariales de prevención podrán ejecutarse mediante acuerdos voluntarios autorizados por las

C.C.A.A. o mediante convenios de colaboración entre las citadas administraciones y los productores de neumáticos.

4. Los planes empresariales de prevención de NFU podrán elaborarse a través de sistemas integrados de gestión siempre que se constituyan en aplicación de este R.D. de acuerdo con lo siguiente:

a) Los productores de neumáticos en cuyo nombre el sistema presenta el plan de prevención deberán estar identificados y estarán obligados al cumplimiento individual de las medidas recogidas en dicho plan.

b) La entidad gestora referida en el artículo 8 será responsable del seguimiento de estos planes empresariales de prevención si bien la ejecución y cumplimiento de estos recaerá siempre en los productores de neumáticos.

c) Una vez aprobados los planes empresariales, serán considerados parte de los mecanismos de comprobación para el cumplimiento de los objetivos de prevención descritos en el artículo 1.

-Artículo 4: Obligaciones del productor de neumáticos.

1. El productor de neumáticos está obligado individualmente a recibir los neumáticos fuera de uso, hasta la cantidad puesta por él en el mercado nacional de reposición, bien porque le sean entregados por los

generadores o por los poseedores de éstos, bien porque sean recogidos por él mismo. Asimismo, garantizará que todos estos neumáticos fuera de uso se gestionan debidamente, de conformidad con el principio de jerarquía recogido en el artículo 1.1 de la Ley 10/1998, de 21 de abril.

2. El productor de neumáticos garantizará que se alcanzan, como mínimo, los objetivos ecológicos establecidos en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2001-2006 y en sus sucesivas revisiones.

3. Los productores de neumáticos deberán cumplir las obligaciones establecidas en este artículo, bien realizando directamente la gestión de los neumáticos fuera de uso derivados de los neumáticos que hayan puesto en el mercado nacional de reposición, o entregándolos a gestores autorizados de neumáticos fuera de uso, bien participando en un sistema integrado de gestión, según el artículo 8, bien contribuyendo económicamente a los sistemas públicos de gestión de neumáticos fuera de uso, en medida tal que cubran los costos atribuibles a la gestión de los mismos.

4. En el caso de que los productores de neumáticos lleven a cabo directamente las actividades de gestión de NFU, deberán acatar las regulaciones establecidas en el artículo 6.

5. Los productores de neumáticos podrán cumplir las obligaciones establecidas en este real decreto participando por si mismos o junto otros

agentes económicos interesados en sistemas integrados de gestión de los neumáticos comercializados por ellos para que se garantice la recogida y gestión de NFU.

-Artículo 5: Obligaciones de los generadores y poseedores de neumáticos fuera de uso.

1. Los generadores de neumáticos fuera de uso deberán hacerse cargo de aquellos que generen como consecuencia de la prestación de un servicio dentro del marco de sus actividades.

2. Los generadores y poseedores de NFU están obligados a entregarlos al productor de neumáticos o a un centro autorizado o gestor de acuerdo a lo establecido en el artículo 4, a menos que procedan a gestionarlos por sí mismos, en cuyo caso deberán cumplir las obligaciones dispuestas en el artículo 6. Quedan excluidos de estas obligaciones los generadores o poseedores de NFU que los generen en sus propias instalaciones y los entreguen por sus propios medios aun gestor de NFU.

-Artículo 6: Obligaciones de los gestores de neumáticos fuera de uso.

1. Los titulares de actividades de gestión de neumáticos fuera de uso que sean distintas a la valorización o la eliminación deberán notificarlo al órgano competente en materia medioambiental de la comunidad autónoma correspondiente, quedando registrada estas actividades de la forma que establezca

la misma. No obstante, las comunidades autónomas podrán someter a autorización dichas actividades.

2. Los gestores de neumáticos fuera de uso que desarrollen actividades de valorización o eliminación deberán, según lo previsto en el artículo 13 de la ley 10/1998 de 21 de abril, solicitar la autorización del órgano competente en materia de medioambiente de la correspondiente comunidad autónoma.

3. En los términos previstos en la legislación de las comunidades autónomas podrá ser necesario la suscripción de un seguro u otra garantía financiera equivalente para cubrir las indemnizaciones de posibles daños al medioambiente, personas o a cosas. De igual forma se podrá exigir la constitución de una fianza en cuantía suficiente para garantizar el cumplimiento, frente a la administración, de las obligaciones derivadas de las autorizaciones y del propio desarrollo de la actividad autorizada.

-Artículo 7: Almacenamiento y eliminación de neumáticos fuera de uso.

1. El almacenamiento de neumáticos fuera de uso deberá llevarse siempre a cabo en las condiciones de seguridad y salubridad adecuadas y en instalaciones que cumplan al menos con las condiciones técnicas establecidas en el anexo.

El almacenamiento de NFU en las instalaciones de sus generadores o poseedores no podrá superar un

periodo de tiempo de un año ni exceder de treinta toneladas; en caso de que el destino de los NFU almacenados sea la eliminación, el plazo máximo de almacenamiento no podrá superar los 6 meses ni ser una cantidad superior a las 30 toneladas. Si por el contrario el destino es la valorización, el tiempo máximo de almacenamiento será de un año y la cantidad almacenada no podrá superar la mitad de la capacidad anual autorizada de tratamiento.

Las comunidades autónomas podrán exigir a los titulares de actividades de almacenamiento temporal de neumáticos fuera de uso que acrediten de modo fehaciente que dichos neumáticos los reciben o entregan para su valorización o eliminación.

2. De acuerdo con el artículo 12.2. de la ley 10/1998 de 21 de abril, queda prohibido el abandono, vertido o eliminación incontrolada de NFU en todo el territorio nacional, de igual modo y conforme a la legislación vigente, queda prohibido el depósito en vertedero de neumáticos enteros salvo aquellos empleados como elemento de protección en los propios vertederos. No obstante, se podrán admitir en vertedero neumáticos de bicicleta o cuyo diámetro sea superior a mil cuatrocientos milímetros.

-Artículo 8: Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.

1. Los sistemas integrados deberán garantizar la recogida de NFU y su correcta gestión. La gestión de

estos sistemas deberá ser llevada a cabo sin ánimo de lucro y poseer una personalidad jurídica propia.

2. Los sistemas integrados de gestión deberán ser autorizados por las comunidades autónomas en cuyo territorio se vaya a desempeñar la actividad. La solicitud deberá contener al menos las siguientes determinaciones.

- a) Denominación del sistema integrado de gestión para el que se solicita la autorización.
- b) Identificación y domicilio de la entidad a la que se atribuirá la gestión del sistema.
- c) Identificación de los agentes económicos que constituyen el sistema integrado de gestión y la forma en la que puedan adherirse al mismo otros agentes económicos en el futuro.
- d) Delimitación territorial del sistema integrado de gestión.
- e) Descripción del sistema de recogida que se pretenda implantar, así como el destino que se dará a los NFU recogidos, indicando los porcentajes previstos de reutilización, reciclado u otras formas de valorización.
- f) Mecanismos de seguimiento, control de funcionamiento y verificación del grado de cumplimiento de los porcentajes a los que se refiere el párrafo anterior.

g) Identificación de los gestores autorizados que realizarán las operaciones de gestión de los NFU durante el periodo de vigencia de las respectivas autorizaciones.

h) Mecanismo de financiación del sistema integrado de gestión.

i) Participación de cada agente económico en el sistema integrado de gestión.

j) Procedimiento de recogida de datos y suministro de información a la administración que conceda la autorización.

3. Las autorizaciones de los sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso tendrán carácter temporal y se concederán por un periodo de cinco años y podrán ser renovadas de forma sucesiva por un periodo igual de tiempo.

-Artículo 9: Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.

1. Los sistemas integrados de gestión de NFU se financiarán mediante aportaciones hechas por los productores de neumáticos de una cantidad acordada por la entidad a la que se le asigne la gestión del sistema, por cada neumático de reposición puesto por primera vez en el mercado nacional.

2. La entidad gestora del sistema integrado de gestión se financiará en cuantía suficiente como para

garantizar la correcta gestión de NFU mediante las contribuciones de los productores de neumáticos participantes en el sistema. Estas contribuciones serán, en cada ejercicio económico, proporcionales al número de neumáticos puestos por cada productor en el mercado de reposición.

3. Con el fin de facilitar el control y seguimiento de la financiación del sistema integrado de gestión, así como garantizar su máxima transparencia y trazabilidad, los productores de neumáticos, en la puesta en mercado de su producto, deberán identificar y declarar la contribución al sistema por unidad de cada categoría de neumáticos.

En el caso de que el importe de la contribución al sistema integrado de gestión no esté identificado se presumirá, siempre que no se pruebe lo contrario, que la aportación económica correspondiente a los neumáticos puestos en el mercado de reposición no ha sido satisfecha.

4. Los productores de neumáticos deberán facilitar las actuaciones que lleve a cabo el sistema integrado de gestión para comprobar la cantidad y categoría de los neumáticos puestos en el mercado a través de dicho sistema.

Los sistemas integrados de gestión deberán respetar los principios de confidencialidad mercantil en relación con cualquier información que conozcan como

consecuencia de las actuaciones señaladas en el párrafo anterior.

-Artículo 10: Información a las Administraciones públicas.

1. Los agentes económicos que se señalan a continuación informaran de acuerdo con las siguientes normas:

a) Aquellos productores de neumáticos que no participen en un sistema integrado de gestión deberán comunicar, antes del 1 de mayo de cada año, al órgano competente de la comunidad autónoma en la que pongan neumáticos en el mercado por primera vez y referidos al año anterior, su cantidad, peso y tipo. Para ello deberán aportar los datos estadísticos fehacientes que corresponda o un cálculo estimativo deducido de la cantidad total de neumáticos puestos en el mercado nacional. En ambos casos se deberán tener en cuenta los neumáticos importados o adquiridos en otros países de la Unión Europea. Asimismo, informaran de la cantidad total, peso y tipo de neumáticos recogidos y el destino de los mismos, identificando las operaciones de gestión. Un resumen de

esta información deberá ser hecha pública por los productores de neumáticos en el plazo indicado y la información expuesta deberá ser clara e inteligible.

b) Los productores de neumáticos que participen en un sistema integrado de gestión, deberán remitir a la entidad gestora del sistema, antes del 1 de marzo del año siguiente al que están referidos los datos, las cantidades de neumáticos que cada uno de ellos ha puesto en el mercado en el año anterior.

c) Los gestores de neumáticos fuera de uso deberán remitir, en el primer trimestre de cada año, un informe resumen a las comunidades autónomas en las que realicen su actividad en el cual deberán constar, al menos, los datos del registro documental al que se refiere el artículo 6.2 en relación con las cantidades de NFU y de los materiales procedentes de estos que hayan gestionado en el año anterior. Esta información podrá proporcionarse directamente o a través de las entidades gestoras, cuando se trate de un sistema integrado de gestión.

d) Igualmente, los agentes que hayan realizado las operaciones de gestión de los NFU informaran a la entidad gestora sobre la cantidad gestionada para elaborar los correspondientes estudios estadísticos destinados a las Administraciones.

e) Las entidades gestoras de los sistemas integrados de gestión deberán remitir a los órganos competentes de las comunidades autónomas que hayan autorizado el sistema integrado de gestión la información recibida de los productores a la que se refiere el apartado b) de este artículo, esto deberá ser llevado a cabo antes del 1 de mayo.

f) Asimismo las entidades gestoras de los sistemas integrados de gestión deberán elaborar y presentar antes del 1 de mayo de cada año, una memoria de actividades del ejercicio anterior en la que se detalle, al menos, las cantidades y porcentajes de neumáticos recauchutados y NFU reciclados y valorizados. También deberán contener un resumen de la información remitida a las comunidades autónomas en las que se haya autorizado su actuación. Esta memoria será remitida a la Dirección General de Calidad y

Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente a fin de que pueda cumplir las obligaciones de suministro de información a la Comisión Europea. Un resumen de esta información será hecho público por las mencionadas entidades gestoras en el plazo indicado, la información deberá ser clara e inteligible.

2. Para dar cumplimiento a las obligaciones de suministro de información a la Comisión Europea, las comunidades autónomas deberán remitir al Ministerio de Medio Ambiente, antes del 1 de julio de cada año, un informe resumen en la que deberán figurar al menos: el número, peso y categoría de neumáticos gestionados en el año anterior, así como los porcentajes destinados al recauchutado, reciclado u otras formas de valorización.

-Artículo 11: Régimen sancionador.

Las infracciones cometidas contra lo dispuesto en este R.D. estarán sometidas al régimen sancionador regulado en la ley 10/1998 de 21 de abril.

Disposición adicional primera. Relaciones con otros sistemas organizados de gestión.

Loas NFU generados como consecuencia del tratamiento de los vehículos al final de su vida útil están sujetos a lo establecido en el R.D. 1383/2002 de 20 de diciembre sobre gestión de vehículos al final de su vida

útil. No obstante, y siempre que se obedezca a lo estipulado el dicho real decreto, la recogida de vehículos se lleve a cabo mediante un sistema integrado de gestión, se podrán establecer acuerdos entre las entidades que gestionen los sistemas correspondientes para determinar las actuaciones que vayan a desarrollar cada uno de ellos y sus respectivas obligaciones, para la correcta gestión de NFU.

Disposición adicional segunda. Fomento para la utilización en la contratación pública de los materiales procedentes del reciclado de neumáticos fuera de uso.

En el marco de la contratación pública, las Administraciones Públicas promoverán la prevención de NFU impulsando el recauchutado de neumáticos de los vehículos de titularidad pública, cuando ello sea técnicamente posible. De igual forma promoverán la utilización de materiales o productos derivados del reciclaje de NFU siempre que cumplan las especificaciones técnicas requeridas.

Disposición adicional tercera. Estadísticas sobre neumáticos.

El Ministerio de Medio Ambiente colaborará con las comunidades autónomas para la implantación de un sistema de recogida de información sobre neumáticos y neumáticos fuera de uso con el objetivo de elaborar bases de datos homogéneas que permitan la correcta elaboración, revisión, ejecución y seguimiento del Plan Nacional de NFU y de los correspondientes planes

autonómicos. Por lo tanto, los sistemas estadísticos que se establezcan deberán permitir, en particular, la comprobación de que se han alcanzado los objetivos ecológicos, cualitativos y cuantitativos, establecidos en los citados planes.

Disposición adicional cuarta. Información sobre la repercusión en el precio de los neumáticos de reposición de los costes de gestión del residuo cuando se conviertan en neumáticos fuera de uso.

En la factura de venta al consumidor o usuario final del neumático de reposición se especificará la repercusión que tenga en su precio el coste económico de la gestión del residuo al que este dará lugar cuando se convierta en NFU.

Disposición transitoria única. Sobre los neumáticos fuera de uso preexistentes.

Los poseedores de neumáticos fuera de uso generados con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de este real decreto deberán adoptar, por si mismos, las medidas necesarias para garantizar su correcta gestión ambiental. Con este fin, lo establecido sobre dicha gestión y el principio de jerarquía en el artículo 4.1 será de aplicación a estos poseedores de NFU preexistentes.

Disposición final primera. Título competencial.

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1. 23.ª de la constitución, que atribuye al

Estado la competencia sobre legislación básica sobre protección del medio ambiente.

Disposición final segunda. Habilitación para el desarrollo reglamentario.

Se habilita a los Ministros de Medio Ambiente y de Industria, Turismo y Comercio para dictar, en el ámbito de sus competencias, cuantas disposiciones sean necesarias para la aplicación y el desarrollo de este real decreto.

Disposición final tercera. Entrada en vigor.

1. El presente real decreto entrara en vigor el día siguiente a su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

2. Las obligaciones establecidas en los artículos 4.5 y 8 serán exigibles cuando las comunidades autónomas hayan autorizado los sistemas integrados de gestión de NFU y, en todo caso, doce meses después de la entrada en vigor de este R.D. Este mismo plazo será exigible a los productores de neumáticos que se acojan a lo establecido en el artículo 4.4.

3. A partir del 16 de julio de 2006, se prohíbe el depósito en vertedero de neumáticos troceado.

Anexo: -Condiciones técnicas de las instalaciones de almacenamiento de neumáticos fuera de uso.

Las instalaciones de almacenamiento de neumáticos fuera de uso cumplirán, como mínimo, las condiciones y requisitos técnicos que se citan a continuación:

1. Ubicación:

La instalación estará situada a una distancia respecto a zonas forestales o herbáceas u otra instalación industrial que proporcione suficiente seguridad frente a la propagación de incendios, sin perjuicio del cumplimiento de distancias exigidas por otras disposiciones vigentes.

2. Condiciones de admisión:

- a) Solo podrán almacenarse neumáticos fuera de uso que no estén contaminados con otros residuos o materiales.
- b) Los neumáticos podrán almacenarse enteros o reducidos a trozos o polvo.

3. Condiciones de almacenamiento:

- a) La instalación será de acceso restringido y, por lo tanto, estará vallada o cerrada en todo su perímetro. La zona destinada al almacenamiento estará aislada de las demás dependencias de la instalación, si las hubiera.
- b) La instalación estará dotada de accesos adecuados para permitir la circulación de vehículos pesados.

- c) Estará protegida de las acciones desfavorables exteriores de modo que este impida la dispersión de los neumáticos en cualquiera de las formas en las que estén almacenados, es decir, enteros, troceados o reducidos a gránulos o polvo, o el anidamiento de insectos o roedores.
- d) Estará dividida en calles o viales transitables que permitan circular y actuar desde ellos y aislar las zonas en las que se origine algún incidente o accidente.
- e) El suelo de la zona de almacenamiento, accesos y viales estará, al menos, debidamente compactado y acondicionado para realizar su función específica en las debidas condiciones de seguridad y dotado de un sistema de recogida de aguas superficiales.
- f) La altura máxima de los apilamientos de los neumáticos enteros almacenados en pilas libres será de tres metros (3m) y de seis metros (6m) si están almacenados en silo, y estarán dispuestos de forma segura para evitar en lo posible los daños a las personas o a las instalaciones y equipos por su desprendimiento.
- g) La zona específica de almacenamiento de los neumáticos enteros estará

compartimentada en celdas o módulos independientes con una capacidad máxima de cada una de ellas de mil metros cúbicos (1.000m³) para evitar la propagación del fuego en caso de incendio y con viales internos que permitan el acceso de los medios mecánicos y de extinción.

- h) El titular de la instalación es responsable de los riesgos inducidos por aquella, entre los que, al menos, estarán incluidos los de incendio y vandalismo.
- i) La instalación dispondrá de las medidas de prevención de los riesgos de incendio correspondientes según lo establecido en la normativa en vigor sobre protección de incendio, así como de las medidas de seguridad, autoprotección y plan de emergencia interior para la prevención de riesgos, alarma, evacuación y socorro.

7. Métodos de reciclajes de NFU.

En la actualidad existen diversos métodos para el reciclaje de neumáticos desechados. En este apartado se analizarán dichas técnicas, así como sus beneficios no solo como método de eliminación o reutilización de residuos sino como fuente o vías de recuperación económicas y viables de productos o componentes.

7.1. Trituración mecánica:

Consiste en la conversión de los neumáticos desechados en fragmentos de tamaño más pequeño, este proceso suele emplearse como paso intermedio para otros métodos de reciclaje y consta de tres etapas. En la primera los neumáticos son fragmentados en tiras. En la segunda etapa las tiras de material son introducidas en un triturador que sigue fragmentando el material para permitir la separación más fácil del acero que compone los neumáticos mediante el uso de imanes. Finalmente, tras eliminarse el acero, el material restante es introducido en otro triturador para llevarlo a la granulometría deseada. Dependiendo de la forma y granulometría se realizará una trituración (tamaño del material final grande) o una granulación (tamaño del material final pequeño). En España existen 18 plantas destinadas a la fragmentación de NFU, cinco realizan procesos de trituración y granulación, cuatro llevan a cabo procesos solo de trituración y nueve realizan solo procesos de granulación. ^[13]



Figura 7.1. Vista de las cuchillas para la trituración de NFU [13A]



Figura 7.2. Vista lateral de un tren de trituración de NFU para conseguir granulado fino. [13B]

7.2. Trituración criogénica:

Sigue la misma metodología que la trituración mecánica salvo que este método se lleva a cabo a temperaturas extremadamente bajas mediante el uso de nitrógeno líquido, esto permite una fácil trituración y separación de los materiales que componen los neumáticos pues a estas temperaturas se vuelven quebradizos lo que facilita su trituración. Sin embargo, debido a las características especialmente costosas frente a otras alternativas como la trituración mecánica tradicional, el empleo de este proceso no se encuentra muy extendido pues el incremento de este coste no justifica la mejora en el rendimiento del proceso. ^[14]

7.3. Incineración:

Como su nombre indica, consiste en la quema (en presencia de oxígeno) de neumáticos para su aprovechamiento como combustible ya que posee un poder calorífico que puede llegar a ser superior al del carbón pues oscila entre 28-34 MJ/Kg. ^[15] El empleo de este proceso suele reservarse para horno con materiales refractarios de alta calidad, pudiendo ser utilizados en plantas industriales de cemento, ladrillo, papel, acero, etc. ^[16]

En Europa, el destino principal de los neumáticos destinados como combustible en procesos de incineración es la industria cementera. Solo en 2010,

Alemania, España, Francia y Austria destinaron el 42%, 39%, 38% y 50% de los NFU para valorización energética a esta industria. ^[17]

Entre las ventajas ^[18] que tiene esta salida para los NFU se encuentran:

- No necesita de tratamientos previos para su uso, por lo que se pueden emplear neumáticos enteros en los hornos para, finalmente, recuperar las carcasas metálicas al final del proceso. Esto no quita que también se puedan aprovechar en cualquier tipo de granulometría obtenida mediante procesos de trituración.
- Pruebas llevadas a cabo en la industria cementera demuestran que los NFU pueden suplir hasta un 20% del combustible empleado en la producción lo cual tiene un impacto directo en las emisiones de gases nocivos o de efecto invernadero ya que los neumáticos poseen un contenido en carbono, nitrógeno y azufre menor que los combustibles empleados normalmente. Además, el carbono proveniente del caucho natural no computa en el cálculo de dióxido de carbono emitido a la atmosfera pues contabiliza como biomasa lo que conlleva una reducción en las emisiones de dióxido de carbono de la industria.
- Cuando se emplea en la industria cementera como combustible, el Clinker obtenido posee

características similares al obtenido mediante el uso de coque como combustible.

Sin embargo, este método presenta una serie de inconvenientes ^[19] tales como:

- Los componentes que forman el neumático poseen distintas velocidades de combustión por lo que la emisión de energía en forma de calor no será constante.
- El proceso de incineración genera una serie de contaminantes como subproductos tales como compuestos de plomo, talio, zinc, cadmio o hidrocarburos aromáticos policíclicos, estos últimos son sustancias altamente cancerígenas mientras que el resto son considerados metales pesados que, de no ser controladas sus emisiones, pueden ser adsorbidos en la cadena trófica y presentar un riesgo tanto para el medioambiente como para la salud de las personas, de ahí que el uso como combustible se restrinja a industrias con un alto nivel de medidas de control y tratamiento de residuos vertidos al medio ambiental.
- Como ya se ha comentado anteriormente, la incineración de NFU requiere, no solo de un alto control de las emisiones y residuos generados, sino de hornos equipados con materiales refractarios de alta calidad.

Cabe destacar que la valorización energética de un neumático es siempre la última alternativa a considerar cuando se trata de buscar una salida para los NFU y solo se escoge cuando el resto de alternativas no pueden gestionar más neumáticos y la única alternativa es su almacenamiento, el cual tiene un tiempo y capacidad limitados de acuerdo al artículo 7 del Real Decreto 1619/2005 de 30 de diciembre.

Actualmente existe nueve fábricas de cemento ^[20] que emplean NFU generados en España como combustible en sus instalaciones, seis se encuentran en territorio español, concretamente dos en País Vasco (Lemona y Añorga), una en Cantabria (Mataporquera), otra en Castilla y León (Venta de Baños), una quinta en Valencia (Sagunto) y finalmente otra en Andalucía (Rincón de la Victoria). Las plantas restantes se encuentran en Portugal (en Maceira y Outao respectivamente) y Marruecos (Booskoura).

7.4. Producción de electricidad y vapor:

Es otro tipo de valorización energética que parte del proceso de incineración de los NFU, su uso se encuentra más extendido en Estados Unidos, aunque también existen algunas plantas que empleen este proceso en Europa. Se fundamenta en la combustión en calderas de los NFU para producir vapor de agua. Este puede ser aprovechado directamente o ser conducido hasta una turbina conectada a un generador que produzca la

electricidad al moverse. Este sistema, puede ser empleado para abastecer de electricidad a la planta de reciclaje o utilizarse en plantas eléctricas como combustible alternativo. Al fundamentarse en la combustión de NFU adolece de los mismos inconvenientes ambientales que tiene el método de la incineración por lo que necesitara de un sistema de tratamiento de gases y de efluentes para minimizar el impacto negativo en la salud y en el medio ambiente.

En España existen dos plantas que emplean este método para la obtención de electricidad, una de las plantas se localiza en Palma de Mallorca mientras que la otra se ubica en Melilla. ^[21]

7.5. Termólisis, pirolisis y gasificación:

La termólisis es un proceso térmico en ausencia de oxígeno que se emplea generalmente para la **recuperación** de los compuestos que forman los neumáticos. Como ya se ha nombrado anteriormente, este proceso se fundamenta en la aportación de calor en ausencia de oxígeno evitando así el fenómeno de combustión y consiguiendo en su lugar la rotura de los enlaces químicos de los componentes que conforman los neumáticos. Pruebas realizadas para este método resultan en la obtención de una mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos con un calor de combustión de entre 41 a 43 MJ/Kg mientras que los gases

incondensables obtenidos poseían un calor de combustión de entre 64 y 83 MJ/Nm³.^[22]

Por su parte, la pirolisis es un tipo de termólisis particular en la que puede haber una concentración muy baja o nula de oxígeno, también puede haber presencia de vapor de agua para el aporte de calor. De acuerdo al Centro de Estudios y Experimentación De Obras Públicas (CEDEX) la pirolisis de 100 Kg de NFU darán como resultado:

Producto:	% En peso:
Gases Combustibles	3-9
Gasolinas	14-22
Gasóleos	32-36
Char (negro de carbono)	27-31
Rendimiento global del Proceso: 90%	

Tabla 7.1. Productos obtenidos a partir de la pirolisis de neumáticos^[23]

En cualquier caso, la tecnología relacionada con este método es relativamente reciente y se encuentra actualmente en vías de investigación y mejora debido principalmente a que la calidad y propiedades de los componentes recuperados son inferiores a los empleados en la fabricación de un neumático nuevo u obtenidos por medios convencionales. No obstante, el apoyo a esta tecnología ha crecido en los últimos años como demuestra la puesta en marcha de plantas pilotos que emplean este sistema, como, por ejemplo, la instalada Taiwán en 2002 con una capacidad actual de 28.000 toneladas de NFU u otras más modernas como

las instaladas en Bangladesh o Rumania en 2015 y 2013 respectivamente para la conversión de NFU en Diesel ^[24]. En España existe actualmente una planta de termólisis de neumáticos localizada Valencia (Guadasequíes) sin embargo los materiales recuperados en el proceso llevada a cabo en la planta no son conducidos a otras industrias para la fabricación de nuevos productos, sino que su objetivo es la producción de electricidad mediante el uso de los combustibles obtenidos por el proceso de pirolisis. ^[25]

En el caso de que se maximicen la cantidad de productos recuperados en forma de gases (formados principalmente por hidrocarburos ligeros) se tratará de una gasificación, este método puede ser llevado a cabo mediante mayores aportes de temperatura en menor tiempo o mayores tiempos de residencia a una temperatura menor, también se consigue variando las concentraciones de oxígeno en el proceso ^[26]. De esta forma se consigue el craqueo térmico de las cadenas más largas de hidrocarburos.

7.6 Aprovechamiento de las propiedades de los neumáticos en otras áreas: en la actualidad, una de las salidas que se le da a los NFU es su reutilización o reconversión en muchos y muy variados tipos de productos o sectores. El objetivo es aprovechar las características intrínsecas de este residuo a la vez que se consigue emplear de una forma mucho menos

contaminante que otras alternativas. Algunas de las salidas tan singulares que poseen los neumáticos son:
[27]

7.6.1. Fabricación de césped artificial

Así como muchos otros elementos plásticos o de goma (los cuales abarcan desde recubrimientos aislantes para cables eléctricos pasando por juntas de expansión o tuberías e incluso mobiliario o calzado por nombrar unos pocos ejemplos).

7.6.2. Impermeabilización de todo tipo de suelos:

El uso de NFU abarca la construcción de vertederos, pasando por relleno de balsas de infiltración de agua (esta aplicación se encuentra muy desarrollada en Francia), parques o calles hasta su empleo en la construcción de terraplenes mediante su uso como núcleos del relleno empleado. Centrándonos en este último campo (pues se han llevado a cabo extensas pruebas en España) la reutilización de neumáticos (generalmente empleados en forma troceada mediante procesos de trituración mecánica) posee la ventaja de utilizar grandes cantidades de material, así como del aprovechamiento de las propiedades intrínsecas del material, tales como su impermeabilidad, su durabilidad, sus propiedades como amortiguador de vibraciones, aislante térmico y su resistencia a las

radiaciones ultravioletas. Su utilización se puede llevar a cabo únicamente con fragmentos de NFU o mezclados con materiales térreos lo que conlleva una mejor compactibilidad, densidad y menor deformabilidad a costa de suponer una mayor carga para el terreno.

7.6.3. Aprovechamiento de NFU en la construcción de terraplenes en España

En España estos estudios ^[28] han sido realizados por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX y en colaboración con las entidades y empresas como SIGNUS, LABIKER, SACYR Y CEMOSA.

A partir de estos estudios han surgido una serie de pautas técnicas recogidas en la “*Guía para el proyecto y ejecución de rellenos varios con NFU troceados.*”. Esas mismas pautas para la aplicación de NFU en construcciones de terraplenes se resumen como las siguientes:

- Las piezas de los neumáticos fuera de uso troceados (NFUt) solo podrán colocarse en el núcleo del relleno.
- Las capas de NFUt han de colocarse por encima del nivel freático esperable y de la cota de inundación prevista en la zona de implantación (Esto se debe llevar a cabo así pues la acumulación de agua o el arrastre de material puede suponer el

mayor foco de impacto ambiental de este modo de reutilización, por otro lado, la acumulación de agua puede suponer un aumento en el peso de la estructura y el arrastre de material podría debilitar a la misma).

- La cara inferior de las capas de NFUt debe estar situada, al menos, a 1 metro por encima de la cota superior del terreno natural.
- La cara superior de la capa de NFUt de mayor cota debe estar, como mínimo, a 1 metro de la cara superior de la coronación del terraplén.
- El espesor de las capas de NFUt no debe de ser mayor de 3 metros.
- Las capas de NFUt deberán envolverse en geotextiles para evitar la percolación de partículas de suelo entre tiras de NFUt.
- La distribución de tamaños y el contenido de alambres expuestos del material NFUt serán los de un material Tipo B (Clase II) de la norma *ASTM D6270-08*.
- Al emplear NFUt y materiales térreos en combinación es recomendable realizar la mezcla al 50% para obtener las mejores características mecánicas posibles.

- Las capas intermedias de material terreo que hacen refuerzo estructural deben tener un espesor mínimo de 1 metro y estar exentas de material orgánico.
- Los espaldones del relleno deben asegurar la impermeabilidad ante el agua o aire, y tener anchura suficiente para su adecuada compactación.
- La capa de coronación ha de minimizar la filtración del agua de lluvia hacia las capas de NFUt, drenándola con una ligera pendiente lejos de la estructura.

A continuación, se presenta un esquema de cómo debería quedar uno de estos terraplenes:

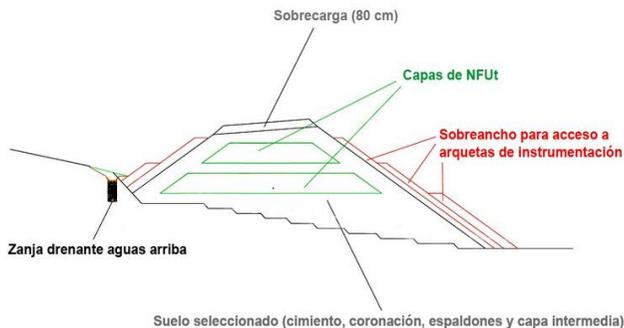


Figura 7.3. Esquema básico de la apariencia final de un terraplén construido con NFUt ^[29]

7.6.4. Aditivo para la construcción de carreteras:

Los NFU empleados en la fabricación de carreteras suelen emplearse bien como una mezcla de betún-caucho (denominadas mezclas bituminosas o ligantes) o bien directamente mediante su mezcla con los áridos empleados. Otra designación de ambos métodos en la empleada en la terminología anglosajona la cual es “wet process” (proceso húmedo) y “dry process” (proceso seco) para las mezclas bituminosas y la mezcla con áridos respectivamente.

La fabricación de mezclas bituminosas debe cumplir con una serie de requisitos recogidos en la Orden Circular 21/2007 para su empleo en obras. En este documento se recoge los tipos de mezclas que se pueden emplear, estos son: betún mejorado con caucho (BC), betún modificado con caucho (BMC los cuales deben cumplir a parte con las especificaciones del artículo 215 del PG-3) y betún modificado de alta viscosidad con caucho (BMAVC).

Los ligantes pueden producirse en fabrica o in situ en el lugar de obra, en este último caso, la Orden Circular 21bis/2009 estipula los criterios de fabricación (mezcla y digestión de 45 minutos a 160°C y 8 horas a 200°C respectivamente) y almacenaje (un máximo de 72 horas) en obra de las mezclas.

Las principales funciones de los productos de este proceso son:

- Membranas antifisuras tanto superficiales (SAM) como entre capas (SAMI).
- Membranas impermeabilizantes en tableros de puentes.
- Materiales para juntas de dilatación y masillas de sellado.
- Ligantes para mezclas en capas de rodadura drenantes o delgadas.

El método denominado “proceso seco” consiste en la incorporación de granulado de NFU a los áridos empleados. Es recomendable su uso en zonas de clima frío donde existe riesgo de formación de placas de hielo pues ayuda a que el tráfico despegue y rompa estas formaciones de hielo.

En resumen, estos modos de reciclaje de NFU en la construcción de carreteras permiten mejorar la resistencia a grietas y al envejecimiento, mejorar el comportamiento frente a los cambios de temperatura, reducir el nivel sonoro por rodadura, mejorar la adherencia de los vehículos, retrasar el desgaste de las marcas viales, disminuir los costes de mantenimiento a la vez que se prolonga la vida del asfalto, etc.

Otra salida que se les está comenzando a dar en las carreteras son su uso como relleno en los carriles de frenado, el uso de NFU ha demostrado en pruebas realizadas que mejora las condiciones de seguridad y reduce los costes de construcción y mantenimiento frente a los carriles de frenado convencionales.

7.7. Recauchutado: ^[31]

Sin duda una de los métodos preferentes y más extendidos y empleados en la reutilización de neumáticos usados, consiste en la sustitución (siempre que el estado del neumático lo permita) de la banda de rodadura gastada de un NFU por otra completamente nueva, dicha banda puede provenir del reciclado de neumáticos, a continuación, se suele llevar a cabo un proceso de vulcanizado y curado para aumentar la resistencia del neumático final. Como resultado de toda esta serie de proceso se consigue la recuperación completa de un neumático apto para su uso a la vez que se reduce entre un 50 o 75 % el consumo de materias primas. Sin embargo, las prestaciones de este tipo de neumáticos difieren de los neumáticos de reposición siendo algunas de sus diferencias:

- Los neumáticos recauchutados son más baratos que los unos nuevos, sin embargo, aguantan menos kilómetros y al igual que los neumáticos de reposición, se deben respetar las cargas máximas y velocidades que pueden soportar con el fin de preservarlos el mayor tiempo posible.
- Los neumáticos recauchutados pueden ser sometidos varias veces a este proceso siempre que se encuentren en condiciones óptimas, por otro lado, propiedades tales como la adherencia o la precisión de la conducción por nombrar unos pocos pueden ser inferiores a las de un

neumático nuevo si el recauchutado no se realiza correctamente.

- Se recomienda escoger marcas o fabricantes conocidos para asegurar que trabajen con materiales y carcasas en condiciones óptimas.

Este proceso es válido para cualquier neumático que tenga al menos una banda de rodadura con una profundidad de entre 2 y 3 milímetros y que la banda de rodadura tenga la misma profundidad que la carcasa que se emplee de base.

7.8. Regeneración del caucho: ^[32]

Consiste en la desvulcanización de los neumáticos mediante la rotura de los enlaces de azufre entre las cadenas de caucho, para ello existen cinco tipos de procesos: químicos, termoquímicos, mecánicos, irradiación y biológicos. El caucho recuperado por estos procesos posee una menor calidad que el originalmente empleado para la fabricación de los neumáticos ya que los métodos actuales no son lo suficientemente selectivos para romper los enlaces entre cadenas sin romper la cadena principal y es por ello que lo recuperado por estos métodos no pueda ser empleado en la fabricación de neumáticos nuevos debido a los estándares de calidad, por ello se destina para la fabricación de otro tipo de artículos que empleen caucho. El principal inconveniente de este método deriva en las complicadas técnicas, la duración, la

peligrosidad o toxicidad de los materiales empleados o el coste para que este método resulte viable.

- Los procesos químicos de desvulcanización se fundamentan en la mezcla del polvo de caucho con un peptizante y un agente regenerador. Este último es el encargado de romper las cadenas de caucho y reaccionar con los radicales formados.
- Los procesos termoquímicos es la combinación del proceso anterior con el uso extensivo de calor para favorecer las reacciones y el craqueado térmico de las cadenas.
- Los procesos mecánicos combinan el uso de agentes regeneradores y el cizallado del material a alta velocidad y presión.
- La desvulcanización mediante radiación se lleva a cabo mediante el uso de microondas, este método solo se puede emplear con aquellos materiales vulcanizados que posean moléculas polares o posean aditivos que se comporten como tal ya que este proceso se fundamenta en el calentamiento del material y posterior craqueo térmico de este mediante la excitación de estos dipolos.

Aunque no se trata de una radiación, los ultrasonidos también han demostrado ser capaces de producir la desvulcanización del caucho, aunque el mecanismo que sigue no se ha logrado aclarar.

- La desvulcanización mediante procesos biológicos es la alternativa más atractiva debido a la alta selectividad que posee, sin embargo, la lentitud de este proceso y la dificultad para el cultivo de microorganismos que lo lleven a cabo hacen que este método pueda ser aplicado actualmente a escala industrial.

En resumen, un esquema del proceso de recuperación y reutilización de los neumáticos aparece en la Figura 7.4.

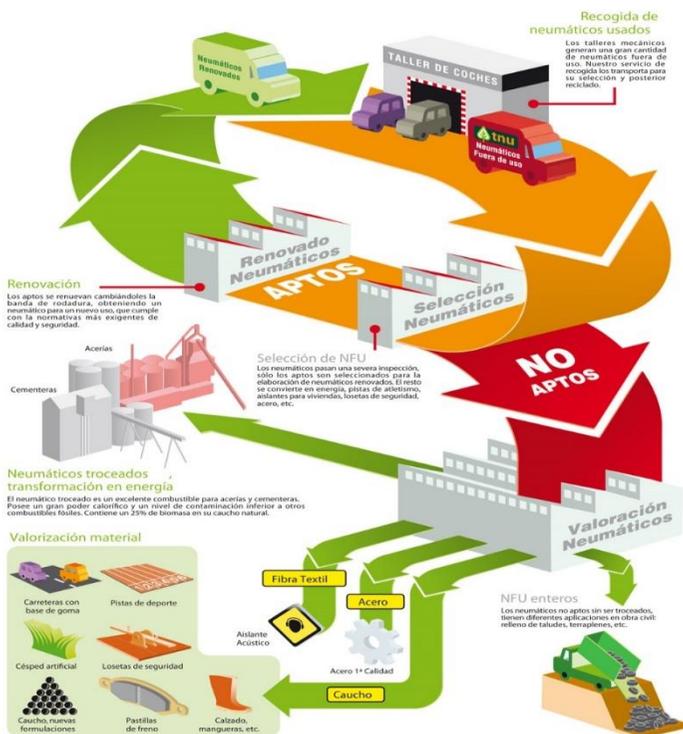


Figura 7.4. Diagrama de la vida de un NFU [33]

8. Sistemas integrados de gestión y situación de los NFU en España.

De acuerdo a lo establecido en el *Real Decreto 1619/2005 de 30 de diciembre* artículo 4, subsección 5, los productores de neumáticos pueden establecer sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso para gestionar, en colaboración con otras entidades asociadas a los mismos, los NFU que reciban o generen. Por otro lado, y de acuerdo al artículo 9, subsección 1 de ese mismo real decreto, estas entidades deberán establecerse sin ánimo de lucro, siendo financiadas mediante donaciones de sus miembros. Dichas donaciones se calculan de acuerdo a la denominada Ecotasa o Ecovalor, estos términos hacen referencia a la tasa aplicada al precio de venta al público (P.V.P) de los neumáticos de reposición para hacer frente a los costes de procesamiento de NFU ^[34]. SIGNUS (la cual se comentará posteriormente) establece diez categorías de neumáticos con diferentes tasas estando excluidos aquellos con un diámetro superior a 1.400 milímetros. A continuación, en la tabla 8.1. se establecen los tipos, categorías y tasas correspondientes a los neumáticos de acuerdo a lo establecido por SIGNUS.

Tipo de neumático	Categoría	Detalles del producto	Tasa aplicada (Precio/Unidad)
-Moto, Scooter, Ciclomotor	A	Todos los productos	0,83 €
-Turismo	B	Todos los productos	1,38 €
-Camioneta, 4x4, SUV	C	Todos los productos	2,24 €
-Camión	D	Todos los productos	10,28 €
-Agricultura, Obra Pública, Industrial, Macizos, Manutención, Quad, Kart, Aeronaves, Restos de neumáticos	E1	Desde 0.00 Kg hasta 5.00Kg	0,34 €
	E2	Desde 5.01 Kg hasta 20.00 Kg	2,02 €
	E3	Desde 20.01 Kg hasta 50.00 Kg	4,42 €
	E4	Desde 50.01 Kg hasta 100.00 Kg	10,81 €
	E5	Desde 100.01 Kg hasta 200.00 Kg	21,06 €
	E6	>200.00 Kg	36,86 €
*Los pesos se encuentran referidos a neumáticos nuevos.			

Tabla 8.1. Ecotasas aplicadas por SIGNUS en 2017^[35]

Sin embargo, este no es el único sistema de clasificación y tasas que existe ya que estos son propios de los sistemas de gestión involucrados. Otro ejemplo de ello es TNU (otro de los sistemas integrados de gestión del que también se hablara posteriormente) que posee su propio sistema de clasificación y tasas para la gestión de los neumáticos fuera de uso, el cual aplica a

sus clientes y asociados. Dicho sistema se muestra en la tabla 8.2.

Cat.	Descripción	Tasa** (€)
AQ	Manutención, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso \leq 5Kg)	0,30
AT	Moto, scooters y ciclomotores	0,70
BT	Turismos	1,25
CM	Manutención, macizos, obra pública, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso $>$ 5 Kg y \leq 25 Kg)	1,80
CT	Camionetas, 4x4, SUVs y todoterrenos.	2,00
DT	Camiones y autobuses	9,00
EM*	Manutención, macizos, obra pública, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso $>$ 25 Kg y \leq 50 Kg)	3,95
EP*	Manutención, macizos, obra pública, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso $>$ 50 Kg y \leq 70 Kg)	9,00
ET*	Manutención, macizos, obra pública, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso $>$ 70 Kg y \leq 100 Kg)	9,45
FM*	Manutención, macizos, obra pública, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso $>$ 100 Kg y \leq 200 Kg)	18,15,
FT*	Manutención, macizos, obra pública, agrícola, quad, kart, jardinería y similares (peso $>$ 200 Kg)	32,50

Tabla 8.2. Ecotasas aplicas por TNU en 2017 ^[36]

*Los neumáticos de las categorías comprendidas entre la EM y la FT están excluidas de las tasas si son iguales o superiores a 1.400mm.

**Los neumáticos con diámetro igual o superior a 1.400mm están excluidos de estas tasas.

8.1. Principales Sistemas Integrados de Gestión en España.

Actualmente en España existen dos grandes Sistemas Integrados de Gestión (SIG) que se distinguen por su alcance y tamaño al operar a nivel nacional. Estos sistemas son los que se han nombrado anteriormente: SIGNUS (acrónimo de Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos USados) y TNU (acrónimo de Tratamiento de Neumáticos Usados). Ambas entidades representan en torno al 90% del mercado de gestión de NFU en España ^[37]. El resto de dicho mercado está formado por SIG fundadas y gestionadas en general por administraciones públicas en colaboración con empresas privadas y cuyo alcance suele limitarse a nivel autonómico.

Sea cual sea el caso, el principal cometido de estas organizaciones es la administración de los NFU generados por las empresas que se asocian a estos sistemas de gestión como estipula el R.D. 1619/2005 de 30 de diciembre ^[38]. Dicha administración abarca desde: la recogida de neumáticos usados en puntos de recogida establecidos denominados Puntos de Gestión de Neumáticos Usados (PGNU), pasando por su

transporte a instalaciones de clasificación donde se catalogan en dos categorías:

- Los neumáticos que pueden ser reutilizados mediante diversos procesos, el más extendido es el recauchutado.
- O aquellos neumáticos que han llegado al final de su vida útil (denominados NFVU).

Los neumáticos que entran dentro de la categoría de NFVU son distribuidos a sus destinos finales, siendo generalmente estos los hornos de cementeras, plantas de pirolisis, como material de construcción, etc.

Las SIG también desempeñan labores de supervisión del mercado de reposición de neumáticos (tanto importados como exportados en el territorio nacional) de los productores involucrados con el sistema de gestión, esto se realiza con el fin de establecer la asignación mínima de NFU que estos productores deberán gestionar a través del SIG al que pertenecen. De igual modo se emplea para evaluar la evolución del mercado y de la generación de futuros NFU. También sirve para distribuir las responsabilidades económicas entre los productores y generadores de neumáticos y neumáticos usados asociados (mediante la aplicación de las Ecotasas en los precios de venta como se explicó anteriormente). ^[39]

Todas las actividades nombradas anteriormente deben quedar reflejadas de forma cualitativa y cuantitativa en un informe anual destinado al Ministerio ocupado del

ámbito medioambiental y cuyo acceso a dicho informa pueda ser efectuado por cualquier individuo u organización ajena interesada. ^[40]

Otros aspectos que suelen desarrollar los SIG son las labores sociales de concienciación sobre la importancia del reciclaje de neumáticos usados, también cooperan en la investigación y el desarrollo de nuevos métodos para el reciclaje y reutilización, así como la lucha contra el fraude en la gestión de los NFU ^[41]. Este último punto es de los más importantes a considerar.

Las actividades fraudulentas con NFU se producen cuando se realiza la importación y venta de neumáticos por empresas que no se encuentran asociadas a ningún sistema integrado de gestión de neumáticos. Esto implica que las Ecotasas destinadas a financiar el reciclaje de los NFU no son aplicadas y por consiguiente el P.V.P. de estos neumáticos es menor al de neumáticos incluidos en un SIG, sin embargo, al no encontrarse cubierta su gestión por las Ecotasas correspondientes los sistemas integrados de gestión deben invertir una cantidad de dinero y recursos mayores de las que previamente se habían contemplado lo que pone en peligro la estabilidad y viabilidad del sistema de reciclaje de NFU. Aunque esto pueda parecer un problema menor, hay que recordar que estamos hablando de cifras contabilizadas en toneladas, solo en 2015 estas cifras fueron de 24.265 y 125 toneladas de NFU para SIGNUS y TNU ^[42] respectivamente lo que se traduce en millones de euros

que deben ser compensados por los sistemas de gestión y sus socios.

Como ya se ha comentado anteriormente, en España, todos los sistemas integrados de gestión están obligados a presentar los datos sobre la gestión llevada a cabo de los NFU, así como datos sobre el estado de mercado de los neumáticos de reposición introducidos. Estas publicaciones son la fuente principal de datos y estadísticas empleadas, sin embargo, estos estudios se realizan referidos al año anterior de su publicación, siendo los realizados en 2015 los más reciente a fecha en la que se realiza este trabajo de fin de grado. Dicho esto, se proseguirá a analizar la situación del reciclaje y reutilización en España, teniendo especial atención de dicha situación en el archipiélago canario.

Como se ha comentado anteriormente, la gestión de neumáticos fuera de uso en España es llevada a cabo de forma mayoritaria por SIGNUS y TNU, por lo que, los datos aportados por ambas entidades pueden considerarse representativos de la situación general de los neumáticos usados en el territorio español.

8.2. SIGNUS.

De acuerdo a las cifras aportadas por SIGNUS en su informe más reciente ^[43]. Han sido recogidos por esta entidad un total de 186.285 toneladas de neumáticos fuera de uso, de los cuales 24.265 corresponden a neumáticos no declarados.

Todos los neumáticos gestionados por este tipo de entidades son recogidos en los denominados Puntos de Gestión de Neumáticos Usados de los cuales SIGNUS posee 25.371 puntos autorizados en España. Estos se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

Localización	N.º de puntos	% del total
Talleres de vehículos	24.235	95,5
Usuarios	662	2,6
Organismos Oficiales	189	0,7
Puntos limpios	202	0,8
Conservación y mantenimiento de carreteras	70	0,3
Fábricas de neumáticos	9	0,0
Total	25.371	100

Tabla 8.3. Distribución y porcentaje de PGNU de SIGNUS ^[44]

Se observa claramente en la Tabla 8.3. que prácticamente la totalidad de estos puntos se encuentran, como es lógico, ubicados en talleres de vehículos pues son el principal emplazamiento en el

cual se llevan a cabo las sustituciones de neumáticos por particulares. El resto de puntos corresponden, por lo general, a los localizados en o específicamente para empresas, ya sean, públicas o privadas que poseen una alta tasa de generación de NFU.

La cantidad de estos PGNU varía mucho entre comunidades autónomas y se debe principalmente a las diferencias del volumen generado de NFU como demuestran las tablas 8.4. (A) y 8.4. (B)

Comunidad	N.º de PGNU	% de PGNU	Toneladas de NFU recogidos	% de Toneladas de NFU recogidos
Andalucía	4.185	16,50	31.165	16,73
Aragón	908	3,57	7.579	4,07
Canarias	912	3,59	7.483	4,02
Cantabria	377	1,49	3.063	1,64
Castilla la Mancha	1.467	5,78	10.633	5,71
Castilla y León	1.823	7,19	17.047	9,15
Cataluña	3.950	15,57	25.328	13,59
C. de Ceuta	18	0,07	44	0,02
C. de Melilla	9	0,03	351	0,19
C. de Madrid	2.492	9,82	17.005	9,13
C.F. Navarra	562	2,22	3.822	2,05
C. Valencia	2.014	7,94	12.306	6,61

Tabla 8.4. (A) Distribución y porcentaje de PGNU, así como cantidad y proporción de NFU por comunidades autónomas de SIGNUS ^[45]

Comunidad	N.º de PGNU	% de PGNU	Toneladas de NFU recogidos	% de Toneladas de NFU recogidos
Extremadura	1.059	4,18	7.481	4,02
Galicia	2.179	8,58	15.051	8,08
Islas Baleares	699	2,75	4.265	2,29
La Rioja	232	0,92	1.658	0,89
País Vasco	1.170	4,62	10.658	5,72
P. de Asturias	734	2,89	6.404	3,44
R. de Murcia	581	2,29	4.944	2,65
Total	25.371	100	186.285	100

Tabla 8.4. (B) Continuación de la distribución y porcentaje de PGNU, así como cantidad y proporción de NFU por comunidades autónomas de SIGNUS ^[46]

De las tablas 8.4. (A) y 8.4. (B) también se observa que las mayores cantidades de NFU recogidos se encuentran en cinco de las diecisiete C.C.A.A., dichas comunidades son: Andalucía, Cataluña, Comunidad de Madrid, Galicia y Castilla y León, estas engloban aproximadamente el 56% de total de neumáticos usados recogidos por SIGNUS, por otro lado, estas mismas comunidades autónomas albergan los porcentajes más altos de PGNU, englobando en torno al 57% de los puntos gestionados por esta entidad. Por el contrario, la Rioja, Islas Baleares, Murcia, Navarra, Cantabria y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla concentran tanto la menor cantidad de NFU recogidos (entre todas representan aproximadamente el 9,73% del total) como la menor cantidad de PGNU (albergan a 9,77% de todos los PGNU del país).

Las diferencias entre ambos extremos son fácilmente entendibles si se observa las enormes diferencias que existen en factores tales como:

- Tamaño del parque móvil.
- Población y tamaño de la comunidad / ciudad autónoma.
- Industria y economía.
- Turismo.
- Otros factores.

Otros de los datos aportados por SIGNUS son las cantidades de neumáticos desechados recuperados para su reutilización y los recogidos que han llegado al final de su vida útil (denominados Neumáticos al Final de su Vida Útil o NNFVU) ^[47]. Dichos datos se muestran posteriormente en las tablas 8.5. (A) y 8.5. (B) Según estas cifras, de los 186.285 NNFVU recogidos, solo 24.305 fueron enviados a procesos de recuperación para volver a ser usados como neumáticos mediante procesos de recauchutado o similares. Esta cantidad equivale aproximadamente al 13% del total y esto considerando la totalidad de lo recuperado por SIGNUS en todo el territorio nacional, sin embargo, es difícil establecer medidas para mejorar estas cifras pues la recuperación de neumáticos depende directamente de su estado para superar las pruebas que lo consideren apto y seguro para su reutilización. Por otro lado, las 161.980 toneladas restantes de NNFVU o lo que es lo mismo, el 87% del

total deben ser aprovechados para otros usos o finalidades siendo su principal destino su granulación, el cual emplea en torno a 99.103 toneladas de las 161.980 (el 61,18%) seguido por su empleo para la fabricación de cemento, el cual utiliza en torno a 62.878 toneladas, o lo que es lo mismo, un 38,81% del total. El apenas 0,01% se distribuye en usos como la generación de energía eléctrica, procesos de pirólisis, obra civil, etc. ^[48]

Comunidad	NFU recogidos (t)	Clasificados para reutilización (t)	Clasificados para reutilización (%)	Clasificados como NFVU (t)
Andalucía	31.165,1	3.866	12,4	27.299
Aragón	7.579,3	907	12	6.672,3
Canarias	7.480,0	682,7	9,1	6.800,3
Cantabria	3.062,8	331,3	10,8	2.731,5
Castilla La Mancha	10.632,7	1.082,7	10,2	9.550
Castilla y León	17.047,0	1948,8	11,4	15.098,2
Cataluña	25.327,9	4.267,3	16,8	21.060,5
C.A. de Ceuta	44,0	1,1	2,6	42,9
C.A. de Melilla	351,0	9,1	2,6	342
Comunidad de Madrid	17.004,9	3.492,5	20,5	13.515,4
C.F. de Navarra	3.821,7	535,1	14	3.286,6

Tabla 8.5. (A) Cantidad y distribución de los NFU reutilizados y denominados NFVU por SIGNUS en 2015 ^[49]

Comunidad	NFU recogidos (t)	Clasificados para reutilización (t)	Clasificados para reutilización (%)	Clasificados como NFVU (t)
Comunidad Valenciana	12.306,0	1.580,2	12,8	10.725,8
Extremadura	7.480,7	817,5	10,9	6.663,2
Galicia	15.050,9	1.643	10,9	13.408
Islas Baleares	4.264,7	386,3	9,1	3.878,4
La Rioja	1.657,7	223,9	13,5	1.433,8
País Vasco	10.657,7	1.644,4	15,4	9.013,3
P. de Asturias	6.403,8	439	6,9	5.964,8
Región de Murcia	4.943,9	446,9	9	4.497
Total	186.285	24.305	13	161.980

Tabla 8.5. (B)Continuación de la cantidad y distribución de los NFU reutilizados y denominados NFVU por SIGNUS en 2015 ^[50]

8.3.TNU.

De acuerdo a los últimos datos disponibles ^[43], TNU recogió 61.230,618 toneladas de neumáticos usados, una cifra bastante grande pero mucho menor que la obtenida por SIGNUS durante el mismo periodo. Esto se debe principalmente a la diferencia de tamaño, objetivos y alcance de ambas entidades, una diferencia clara y bastante importante son los PGNU que controla cada entidad, como comentamos anteriormente, SIGNUS controla 25.371 puntos distribuidos en: talleres, puntos limpios, fábricas de neumáticos, etc. Por su parte, TNU gestiona tan solo 4.964 PGNU que, al igual que SIGNUS, se extienden por todo el territorio

nacional y se encuentran localizados únicamente en talleres de vehículos. Esta diferencia se debe a que TNU se fundó con la idea de satisfacer las necesidades de estos talleres, ofreciendo una alternativa más económica a otros sistemas de gestión^[51].

La distribución de estos PGNU en las comunidades autónomas se muestra a continuación en la tabla 8.6.

Comunidad	PGNU de TNU
Andalucía	447
Aragón	151
Cantabria	39
Castilla la Mancha	296
Castilla y León	403
Cataluña	273
Ceuta	1
C. de Madrid	643
C. Valenciana	1.495
Extremadura	49
Galicia	400
Islas Baleares	46
Islas Canarias	267
La Rioja	19
Melilla	1
Navarra	52
País Vasco	79
P. de Asturias	58
Murcia	245
Total	4.964

Tabla 8.6. Distribución de PGNU de TNU por C.C.A.A. en 2015

[52]

En el caso de TNU y de acuerdo a lo establecido a continuación en las tablas 8.7. (A) y 8.7. (B) Se observa que el grueso de los neumáticos recogidos se encuentra en Comunidad Valenciana, Andalucía, Cataluña y Comunidad de Madrid mientras que las comunidades con el menor número de toneladas recogidas son Cantabria, Ceuta, Melilla y La Rioja. Esto coincide con las comunidades con mayor y menor número de PGNU respectivamente lo cual, al igual que ocurre con los puntos gestionados por SIGNUS, se debe principalmente a las características propias de cada comunidad como son su tamaño, el tipo y cantidad de industria (en este caso para TNU se limita solo a talleres de vehículos), etc.

Comunidad	NFU recogidos por TNU (t)
Andalucía	8.846,683
Aragón	2.416,114
Cantabria	233,655
Castilla la Mancha	3.235,804
Castilla y León	3.436,036
Cataluña	7.761,760
Ceuta	10,850
C. de Madrid	6.713,768
C. Valenciana	12.043,685
Extremadura	550,578
Galicia	3.904,849

Tabla 8.7. (A) Cantidad de NFU recogidos por TNU en las C.C.A.A. ^[53]

Comunidad	NFU recogidos por TNU (t)
Islas Baleares	657,346
Canarias	3.993,808
La Rioja	261,948
Melilla	6,980
Navarra	691,978
País Vasco	2.023,350
P. de Asturias	925,690
Murcia	3.515,733
Total	61.230,818

Tabla 8.7. (B) Continuación de cantidad de NFU recogidos por TNU en las C.C.A.A ^[54]

De las 61.230,818 toneladas recogidas solo un 12,42% de ellos (en torno a 7.604,86 toneladas) pudieron ser destinados para su renovación en neumáticos mediante procesos como el recauchutado. El 87,58% restante fueron catalogados como NFVU y de ellos, el 46,67% (28.576,42 toneladas) se destinaron a la valorización energética ya sea para la producción de electricidad o calor. Finalmente, el 40,91% que queda (en torno a 25.049,538 toneladas) fueron empleadas para la valorización de materiales, es decir, su empleo directo o como material triturado en obras civiles, carreteras, superficies, etc. ^[55]

Datos de 2016 ^[56] estiman que en España se gestionaron en total 194.803 toneladas de NFU de los cuales 23.629 pudieron ser recuperadas para volver a ser empleados en neumáticos. De las 171.177 toneladas restantes, 102.522 toneladas se emplearon para separar y recuperar sus componentes, 144 toneladas se destinaron en obras civiles, 66.048 toneladas se destinaron en el co-procesado de fabricación de cemento, 2.432 toneladas fueron empleadas para la producción de energía eléctrica, finalmente, las 22 toneladas restantes se emplearon en instalaciones de pirolisis. Todos estos pertenecen a SIGNUS, sin embargo, al no haber sido publicados los datos oficiales del año 2016, dichas cifras deberán ser tomadas como orientativas en lugar de definitivas.

9. Situación de NFU en Canarias.

Canarias posee una serie de características propias que no se dan en ningún otro lugar del territorio nacional y que repercuten directamente en la gestión y el tratamiento de los neumáticos fuera de uso.

Entre estas características especiales se encuentran:

- Su condición insular, su orografía y la gran cantidad de espacio protegido o ya construido. Esto hace que el espacio existente para el emplazamiento de instalaciones destinadas a la gestión y el aprovechamiento de los neumáticos usados sea escaso y reducido.
- Dada su naturaleza como destacado destino turístico (lo que implica autobuses, vehículos de alquiler, etc.), sumado a los más de dos millones de residentes que poseen las islas, hacen que el parque móvil del archipiélago sea mayor que la que normalmente se esperaría de un territorio de su tamaño.

Actualmente el Gobierno de Canarias tiene autorizados a los sistemas integrados de gestión: SIGNUS y TNU, con el fin de operar en el archipiélago como gestores de los NFU recogidos por los mismos en sus PGNU ^[57], por lo tanto, dichas entidades son la fuente principal de datos sobre NFU en las islas. Como establecen los datos aportados anteriormente, en 2015 ambas entidades gestionaron aproximadamente un total de 11.477 toneladas de neumáticos en todo el archipiélago con un

total de 1188 puntos de recogida repartidos entre talleres y puntos limpios ^[58]. Por desgracia los datos individuales de cada isla no han sido publicados. ^[59]

Existen datos más recientes del año 2016 sobre SIGNUS ^[60] sin embargo y como ya se ha comentado anteriormente, estos no han podido ser confirmados como definitivos dado que el informe de ese año aún no ha sido publicado por esta entidad. Dicho esto, las cifras aportadas establecen la recogida 7.640 toneladas de NFU lo que se traduce en un aumento de 157 toneladas más que el año anterior. El mayor aporte proviene de la isla de Tenerife con 3.202 toneladas, a continuación, le sigue Gran Canaria con 2.055 toneladas, seguidas de lejos le siguen en orden: Lanzarote (872 toneladas), Fuerteventura (699 toneladas), La Palma (588 toneladas), La Gomera (140 toneladas) y finalmente el Hierro (84 toneladas). De todos estos neumáticos recuperados solo 610 toneladas pudieron ser destinadas para procesos de recuperación con el fin de volver a ser empleados como neumáticos, el resto se empleó para otros fines, siendo destacado su uso para la construcción de pavimentos o suelos.

Uno de los aspectos que destaca la fuente de estos datos es que aproximadamente el 98% del total proviene de municipios con más de 1.000 habitantes siendo su principal fuente servicios de talleres y neumáticos. Por otro lado, también se nombra la disminución de PGNU autorizados por SIGNUS de 912 a 875 esto puede deberse a que otras entidades como TNU se han hecho

cargo de la diferencia sin embargo dichas suposiciones no han podido ser confirmadas debido a falta de datos de TNU u otros SIG en el ejercicio de 2016.

De los datos anteriores cabe destacar que Canarias posee una limitada capacidad de gestión y procesamiento de NFU en el archipiélago. Por ello, en los últimos años se ha querido aumentar la capacidad de procesamiento en el archipiélago con la construcción de plantas de reciclaje como la emplazada en el municipio de Telde en Gran Canaria con una capacidad de tratamiento de 7.000 toneladas al año o la planta dirigida por el grupo RENECAN en Tenerife ^[61]. Sin embargo, estas plantas se limitan a la trituración del material para su uso directo haciendo que el material sobrante o no procesado deba ser almacenado a la espera de ser enviada mediante barco a otras instalaciones en la península ibérica, a raíz de esto y la limitada capacidad de almacenamiento de neumáticos usados en las Islas se ha llegado al extremo de producirse denuncias en la Consejería de Política Territorial, Sostenibilidad y Seguridad del Gobierno de Canarias por la acumulación de estos en lugares como el P.I.R.S. situado en el municipio de Arona, Tenerife ^[62]. Dichas denuncias partieron de Sebastián Martín (concejal de *Sí Se Puede* del mismo municipio) que considero que el lugar carece de las infraestructuras básicas para el correcto almacenamiento de NFU tales como: sistemas de recogida de aguas superficiales, accesos deficientes no adecuados a la circulación de

vehículos pesados, insuficientes medidas contraincendios tales como la compartimentación en celdas individuales de los neumáticos para evitar la propagación en caso de incendio. Por ello se instó a las autoridades competentes la toma de medidas para garantizar la protección y seguridad de las personas debido a la peligrosidad que plantea este almacenamiento sin las correctas medidas de protección como atestigua el incendio en el vertedero de Seseña del cual se hablara posteriormente.

10. Vertederos.

Como ya se ha establecido en el punto seis de este documento (*Normativa y marco legal en España con respecto a los NFU.*), el artículo 7 sección 2 del real decreto 1619/2005 de 30 de diciembre, establece claramente la prohibición de cualquier tipo de depósito en vertedero de neumáticos fuera de uso con excepción de los neumáticos de bicicleta o de diámetro superior a cuatrocientos milímetros sin embargo, existen multitud de vertederos o cementerios ilegales de neumáticos a lo largo y ancho de todo el territorio nacional como son: el cementerio de neumáticos de Castellanos de Villiquera en Salamanca con un tamaño de 10.000 metros cuadrados, el cementerio de Cervera del Llano en la provincia de Cuenca con 80 toneladas de NFU o el de A Laracha (situado en Galicia y con más de 35.000 toneladas de NFU) ^[63]. Todos estos sitios y otros muchos parecidos no solo plantean problemas medioambientales debido a la incapacidad que tienen los NFU de degradarse, la acumulación de neumáticos usados también plantea problemas de salud al ser el hábitat perfecto para mosquitos o roedores, los cuales pueden ser transmisores de enfermedades y, por lo tanto, hacer que estas acumulaciones de NFU pueden convertirse en focos de infecciones e insalubridad. Otro de los principales riesgos que poseen este tipo de vertederos es la de convertirse en focos de incendios debido a la alta concentración de material combustible y la falta de medios para prevenir el control de dicho

incendio en el vertedero una vez declarado. Estos incendios acarrear a su vez problemas medioambientales debido a que el proceso de combustión tiene como consecuencia la generación de sustancias químicas cancerígenas, directamente dañinas para la salud o que pueden ser absorbidos por el suelo y el agua entrando así en la cadena trófica.

Un ejemplo de ello es lo ocurrido en el incendio provocado del cementerio de neumáticos en Seseña, Toledo, en mayo de 2016, el cual contaba con al menos 100.000 toneladas de NFU de las cuales ardieron aproximadamente 90.000. ^[64] Este cementerio era, hasta la fecha de su incendio, el tercer vertedero más grande de Europa y dado su tamaño y la cantidad de material combustible que contenía tardó 20 días en extinguirse ^[65], en los primeros 4 días del incendio, algunos medios estimaron que se emitieron más hidrocarburos aromáticos policíclicos a la atmósfera que los emitidos en España en un año, de hecho, se registraron valores de algunos contaminantes como el benceno (a 300 metros del incendio su concentración ascendía a $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo su valor límite de emisión anual tan solo de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el benzo(a)pireno (en la pluma del incendio se detectaron $3.000 \text{ ng}/\text{m}^3$ siendo su valor límite de emisión anual de $1 \text{ ng}/\text{m}^3$) ^{[66] [67]}.

El principal problema que plantean estos vertederos es la gran cantidad de tiempo que ha pasado desde su fundación hasta que, al considerarse que los residuos, en este caso neumáticos, que alberga están abandonados

la administración pública pueda tomar medidas para reconducir la situación. En este lapso de tiempo la cantidad de neumáticos acumulados es enorme y en ocasiones la llegada de estos nunca es detenida. Por poner un ejemplo, el cementerio de Seseña del que hablamos anteriormente fue fundado en 2002 y a pesar de que la empresa responsable recibió multas y suspensiones de actividad debido a su administración, nunca se detuvo el envío de neumáticos. No fue hasta 2013 que el ayuntamiento de Seseña pudo hacerse cargo del vertedero, sin embargo, las medidas tomadas para paliar esta situación fueron ineficientes ya que en el periodo comprendido entre 2013 y 2016 la empresa designada no cumplió apenas con las labores de limpieza estipulada derivando en la catástrofe que hoy se conoce.^[68]

Como es común tras muchos desastres, el incendio de Seseña puso en el punto de mira al resto de cementerios de neumáticos existentes en España y fue el detonante para un endurecimiento en las leyes y gestión referentes a vertederos con el fin de conseguir su completa eliminación. También ayudó a concienciar a la población del riesgo real que representan dichos cementerios lo que motivo a la denuncia por la existencia de muchos de ellos en todo el territorio nacional con el fin de que recibieran las gestiones adecuadas.^[69]

Por otro lado, a principios de los años 70 se experimentó con el uso de neumáticos usados como material base de

nuevos arrecifes artificiales, de esta forma se buscaba potenciar el turismo submarino o la pesca. Esta iniciativa nació en Florida, Estados Unidos, en dicho estado más de dos millones de NFU fueron empleados para la creación de estos arrecifes artificiales a propuesta de Goodyear. Sin embargo, más tarde estas actividades fueron secundadas por países como Francia, Malasia o Israel entre otros. A raíz de esto millones de neumáticos fueron vertidos al fondo marino en más de 200 localizaciones en todo el mundo ya que en esa época los neumáticos eran considerados residuos no contaminantes y por lo tanto la normativa que se les aplicaba era muy poco restrictiva además de que apenas se conocían sus efectos en el medio. Actualmente se sabe que los neumáticos tardan miles de años en degradarse y que en este proceso desprenden una gran variedad de contaminantes y materiales pesados que afectan y matan a la vida marina. Esto explica la desastrosa conclusión que tuvo este experimento ya que nunca se llegó a formar ningún tipo de arrecife en los lugares donde se vertió neumáticos usados de origen sintético y no fue hasta hace unos años que los países responsables de estos vertidos comenzaron el proceso eliminación de residuos y regeneración de las zonas afectadas. ^[70]

España no fue ajena a esta actividad, pero por lo general los neumáticos se han vertido acompañados con otros residuos lo que los convierte más en vertederos que en intentos de arrecifes artificiales, de hecho y por

desgracia, hoy en día se siguen produciendo vertidos incontrolados tanto en el mar como en lagos o embalses, aunque eso sí, estos vertidos suelen ser de pequeño tamaño.

De entre todos ellos destacamos el emplazado en las costas de Santa Cruz de Tenerife del que ya se han retirado 4 toneladas de NFU entre otros residuos tras apenas 6 meses del inicio de las actividades de limpieza en 2016.^[71]

A pesar de todo lo anterior, no hacen falta toneladas de NFU para generar un cambio drástico en el hábitat en el que se desechan, prueba de ello fue el descubrimiento fortuito en 2004 en las costas de California de un contenedor con 1.159 neumáticos el cual se perdió durante una tormenta tras caer y hundirse en el mar. A pesar de que los neumáticos siguen dentro de este contenedor de carga, se ha observado un cambio drástico en la flora y fauna en la zona circundante pues se ha apreciado el incremento de especies que, por lo general no suelen habitar una zona como en la que se encuentra hundido el contenedor. Los expertos barajan la posibilidad de que dichos cambios sean producto de la combinación de factores como los propios neumáticos y de los materiales con los que se encuentra construido este contenedor, la pintura que lo recubre, etc.^[72]

11. Conclusiones.

- En primer lugar, la tendencia creciente del mercado de reposición de neumáticos hace que el número de NFU que deberán ser gestionados en un futuro próximo siga creciendo a un ritmo equitativo.
- Ha sido necesario el establecimiento de un marco legislativo que sea capaz de unir a los agentes involucrados en el ciclo de vida de los neumáticos para de esta forma atajar el problema que plantean estos residuos.
- En materia de métodos para el reciclaje, reutilización y valorización de NFU, destaca la utilización del recauchutado pues permite recuperar neumáticos para que vuelvan a ser usados como tal, sin embargo, este método tiene la importante desventaja de depender del estado inicial en el que se encuentra el NFU cuando es recogido, el cual es un parámetro altamente variable y prácticamente imposible de regular.
- Sin embargo, en la actualidad la principal salida que se le da al material obtenido de los NFU es utilizado o bien en el ámbito de la construcción, o bien en procesos de valorización energética debido al volumen de material que se utiliza y la sencillez de los procesos requeridos.

- Métodos más exóticos como la recuperación de caucho u otros componentes se encuentran en un segundo plano debido a que los métodos que utilizan son lentos, complejos o costosos. Por fortuna, este tipo de procesos han conseguido despuntar en los últimos años gracias a los esfuerzos realizados en investigación y desarrollo, demostrando que en un futuro podrán convertirse en las principales alternativas en cuanto a tratamientos con NFU.

- Algunas de las salidas más atractivas que podrían estudiarse para los NFU en España es su aprovechamiento como fuente para la producción de electricidad y la obtención de hidrocarburos mediante la recuperación de componentes debido a la histórica dependencia tanto energética como de combustibles fósiles que posee este país. Además, esto tendría la ventaja de convertir a los cementerios de NFU que pueblan España en los “yacimientos de petróleo” del futuro lo que haría más atractiva su eliminación poniendo fin así a los problemas que generan actualmente.

- En el caso de la comunidad autónoma de Canarias, los NFU plantean un problema debido a la escasez de instalaciones y espacio para su gestión, siendo su principal salida el envío de los neumáticos a instalaciones de gestión en la península. Esto plantea la duda de si conviene mantener este procedimiento o por el contrario invertir en las plantas ya existentes

o sacrificar el espacio disponible en la creación de plantas con técnicas más pioneras como la pirolisis. Estas podrían conducir a la creación de nueva industria química en las islas que aprovecharían los componentes recuperados de los NFU.

12. Conclusions.

- First of all, the growing tendency of new tires market has the result of increase the future quantity of waste tires that have to be treated.
- There was a necessity for the establishment of a legislative framework capable of unite all the agents involved in the lifecycle of tires.
- In recycle, reuse and valorization methods of waste tires, retreat tires are the preferential technique do to the fact that the final product can be use again as a tire. Nevertheless, the application of this technique depends of the initial state of the waste tire and this parameter is hardly predictable.
- In the meantime, the principal use of the material from waste tires are used in the construction world or in energetic valorization methods do to the great volume of material the can use and the simplicity of the methods that they require.
- More exotic processes like the recovery of rubber or any other component are relegated as second options because there are usually, slow, complex or expensive. Fortunately, this kind of processes have been improved over the last years thanks to the investment in research and develop., for this, those methods could prove to be the principal alternatives in waste tires treatment in a near future.

- A few of the most intriguing exits for waste tires in Spain are their use for the production of electric energy and the production of hydrocarbons with recovery processes. This happens due to the historical dependency for electricity and fossil fuel in this country. It also could transform all the tires landfills in some kind of “oilfields” that would improve the efforts for eliminate them gradually.
- Canary Island have the special problem of a limited infrastructure and the little space available. This raises the question about the current system where the surplus material from tires are sent to the Iberian Peninsula. Could this system be improved the current plants by expanding them or maybe invest in the creation of newer plant by sacrificing the limited soil available. This last option could result in the creation or improvement of the chemical industry in the island by taking advantage from the compounds recovered.

Anexo: términos y acrónimos empleados.

Este anexo se establece como una guía rápida de los acrónimos empleados en este documento. Dichos acrónimos se encuentran ordenados en orden de aparición.

- TFG: Trabajo de fin de grado
- NFU: Neumático fuera de uso.
- C: Carbono.
- H: Hidrogeno.
- S: Azufre.
- Cl: Cloro.
- Fe: Hierro.
- ZnO: Óxido de Zinc.
- SiO₂: Dióxido de Silicio.
- Cr: Cromo.
- Ni: Níquel.
- Pb: Plomo.
- Cd: Cadmio.
- Talio: Tl.
- SUV: Sport utility vehicle / vehículo utilitario deportivo.
- R.D.: Real decreto.
- BOE: Boletín oficial del Estado.
- U.E.: Unión Europea.
- C.C.A.A.: Comunidades Autónomas.
- m: Metros

- CEDEX: Centro de estudios y experimentación de obras públicas.
- NFUT: Neumáticos fuera de uso triturados.
- ASTM: American society for testing and material / sociedad americana para pruebas y materiales.
- BC: Betún mejorado con caucho.
- BMC: Betún modificado con caucho.
- BMAVC: Betún modificado de alta viscosidad con caucho.
- SAM: Membrana superficial antifisuras.
- SAMI: Membrana antifisuras entre capas.
- P.V.P.: Precio de venta al público.
- SIG: Sistema integrado de gestión.
- SIGNUS: Sistema integrado de gestión de neumáticos usados.
- TNU: Tratamiento de neumáticos usados.
- PGNU: Punto de gestión de neumático usado.
- NFVU: Neumático al final de su vida útil.
- t: Toneladas.
- RENECAN: Reciclaje de neumáticos en Canarias S.L.
- P.I.R.S.: Plan insular de residuos sólidos / También denomina al complejo ambiental de Arico.

Bibliografía.

[1] Popgom URL: <https://www.popgom.es/guia-del-neumatico/historia-del-neumatico> y Oponeo (URL: <https://www.oponeo.es/articulo/historia-del-neumatico>)

[2] Muchoneumatico URL: <http://www.muchoneumatico.com/info/guias/partes-neumatico>

Red de talleres Euromaster URL: <https://www.euromasterneumaticos.es/neumaticos/informacion/partes-de-un-neumatico>

Michelin URL: <http://www.michelin.es/neumaticos/consejos/todo-sobre-el-neumatico/como-es-un-neumatico>

Informe anual de 2015 del SIG TNU, páginas 21 y 22
URL: http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_15.pdf

[3] Diagrama proviene de la red de talleres Euromaster
URL: <https://www.euromasterneumaticos.es/neumaticos/informacion/partes-de-un-neumatico>

[4] y [5] Composición y proporción de componentes de los neumáticos “*Materiales y compuestos para la industria del automóvil*” por Guillermo Castro, página 5,
URL: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Comple

[*mentario/Materiales y Compuestos para la Industria del Neumatico.pdf*](#)

Y de la web Almacén nuclear URL:
<https://almacennuclear.wordpress.com/2010/10/15/componentes-de-los-neumaticos-y-negro-de-humo-obtenido-de-su-tratamiento-por-pirolisis/>

[6] Cifras de 2009 provenientes de infotaller.tv URL:

http://www.infotaller.tv/neumaticos/mercado-mundial-neumaticos-millones-unidades_0_386661333.html

[7] Cifras provenientes de ETRMA, URL:
<http://www.etrma.org/tyres/ELTs/worldwide-perspectiv> que a su vez proceden del trabajo “The World Rubber Industry Review and Prospects to 2020”

[8] y [9] Las cifras sobre la evolución del mercado de neumáticos provienen de infotaller.tv URLs:

http://www.infotaller.tv/neumaticos/mercado-neumatico-crecio-volumen_0_975202471.html

http://www.infotaller.tv/neumaticos/mercado-reposicion-neumaticos-Grupo-Andres_0_970402951.html

[10] y [11] Los datos expuestos y la tabla 5.1. sobre la venta de neumáticos en el primer cuarto de 2016 y 2017 provienen de los datos publicados por ETRMA, URL:

<http://www.etrma.org/uploads/Modules/Newsroom/20170414---eu-tyre-market-1q-2017.pdf>

[12] El R.D. 1619/2005 de 30 de diciembre. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-41>

[13] y [14] Los datos sobre la trituración mecánica y criogénica provienen del CEDEX (URL: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/307/procesamiento-o-transformacion.html>), la revista online Waste (URL: <http://waste.ideal.es/neumaticos.htm>) y www.cedexmateriales.es , www.waste.ideal.es y del Bureau of International Recycling (URL: <http://www.bir.org/industry-es-es/tyres-es-es/>)

[13A] y [13B] Fotografías cortesía de Ambisort (URL: <http://ambisort.com/trituracion/>) y Recimed (URL: <http://www.recimed.com/tratamiento-de-neumaticos-fuera-de-uso/>)

[15] Poder calorífico de los NFU extraída de la ficha técnica de NFU del CEDEX (URL: <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/8496201A-DDA1-43E1-BE04-D31F308A12E3/119956/NEUMATICOSFUERADEU SO1.pdf>) *página 8.*

[16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] y [25] Datos obtenidos CEDEX (URL: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/aplicaciones/310/valorizacion-energetica.html>)

[18], [19], [21] y [22] Se utilizó información procedente de la revista virtual Waste (URL: <http://waste.ideal.es/neumaticos.htm>)

[24] Las plantas instaladas se han extraído de la información proporcionada de la empresa HUAYIN (URL: http://huayinrecycling.com/index.php/home/index/my_case)

[26] Información obtenida de:

Agrowaste (URL: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>)

Y del informe “Pirolisis, una técnica de tratamiento térmico no tradicional” (URL: <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/pir-lisis-una-tecnica-de-trat.pdf>)

[27] La información comentada posteriormente sobre las salidas que poseen los neumáticos fue recabada de la revista virtual Waste (URL: <http://waste.ideal.es/neumaticos.htm>) y del CEDEX (URL: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/aplicaciones/314/otras-aplicaciones.html>)

[28] y [29] Datos sobre el uso de NFU en terraplenes y del Diagrama 7.1. provenientes del CEDEX (URL: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/aplicaciones/311/obras-de-tierra-y-terraplenes.html>)

[30] Toda la información sobre el uso de NFU en la construcción de carreteras fue extraída del CEDEX (URL: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/aplicaciones/312/carreteras.html>)

[31] Investigaciones de la catedra para la “*Investigación y formación sobre neumáticos reciclados*” de la universidad Miguel Hernández de Elche (URL: <http://catedraneumaticos.umh.es/files/2013/06/presentacion-Eficiencia-Recauchutado-ES-EN-FR.pdf>)

Y de noticiascoches.com (URL: <https://noticias.coches.com/consejos/neumaticos-recauchutados-prois-y-contras/83820>)

[32] “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso” CIMTAN, páginas 18 y 19 (URL: www.recuperaresiduosencementeras.org/show_doc.asp?id_doc=41)

[33] Diagrama 6.4 cortesía de TNU (URL: <http://www.tnu.es/w/18/gestion-y-tratamiento-del-los-nfu>)

[34] y [35] Datos y cifras obtenidas de SIGNUS (URL: <http://blog.signus.es/que-es-el-ecovalor/>)

[36] Tarifas de TNU del año 2017 (URL: <http://www.tnu.es/w/158/tarifas-tnu-2017>)

[37] Datos extraídos del CEDEX (URL: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/303/origen.html>)

[38] R.D. 1619/2005 de 30 de diciembre, artículo 8.

[39] R.D. 1619/2005 de 30 de diciembre, artículo 9.

[40] R.D. 1619/2005 de 30 de diciembre, artículo 10.

[41] Informe anual de 2015 de SIGNUS, páginas de la 36 a la 39. Informe anual de 2015 de TNU, páginas de la 65 a la 68. (Ver [43])

[42] Datos extraídos del informe anual de 2015 de SIGNUS, páginas 14 y 15 así como del informe anual de 2015 de TNU, pagina 45. (Ver [43])

[43] Los informes más recientes de SIGNUS y TNU que se han empleado para la obtención de cifras, tipos

y cantidades de NFU, PGNU, etc., Pertencen al año 2015 ya que los pertenecientes al 2016 no han sido publicados en el momento de la realización de este documento.

[44] Tabla extraída del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 17.

[45] Tabla extraída del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 18.

[46] Continuación de la tabla 8.4. (A) Tabla extraída del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 17.

[47] Datos extraídos del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 18.

[48] Datos extraídos del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 18.

[49] Tabla extraída del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 18.

[50] Continuación de la tabla 8.5. (A) Tabla extraída del informe anual de 2015 de SIGNUS, página 18.

[51] ¿Qué es TNU? Disponible en URL: <http://www.tnu.es/w/19/tnu--sistema-integrado-de-gestión-de-neumáticos-fuera-de-uso>

[52] Tabla extraída del informe anual de 2015 de TNU, pagina 48, URL: http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_15.pdf

[53] y [54] Tablas extraídas del informe anual de 2015 de TNU, página 31, URL: http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_15.pdf

[55] Cifras provenientes del informe anual de 2015 de TNU, página 52, URL: http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_15.pdf

[56] Área de noticias de SIGNUS, URL: <https://www.signus.es/signus-impulsa-la-economia-circular-reciclando-cerca-200-000-t-neumaticos-uso/>

[57] Sistema de información medioambiental de Canarias, URL: http://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/piac/temas/RR/RR_RAP/neumaticos/

[58] Datos extraídos de los informes anuales de 2015 de SIGNUS y TNU, URL: https://www.signus.es/wp-content/uploads/2017/06/signus_memoria_2015.pdf y http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_15.pdf

[59] Al pedir información sobre las islas, ambas entidades se remitieron a los datos presentados en los informes anuales, sin aportar datos extras.

[60] Periódico El Día, URL: <http://eldia.es/sociedad/2017-07-20/5-Reciclan-toneladas-neumaticos-Archipiélago.htm>

[61] “*El reciclaje en Canarias*” Jorge Jesús Hernández Fonte, página 9, URL: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1985/Reciclaje%20en%20Canarias.pdf?sequence=1>

Grupo Martínez Cano Canarias S.A. URL: <http://www.martinezcano-sa.es/>

Telde actualidad, URL: <http://www.teldeactualidad.com/hemeroteca/noticia/economia/2012/9/25/1838.html>

[62] Periódicos digitales eldiario.es, URL: http://www.eldiario.es/tenerifeahora/sociedad/Puede-denuncia-acumulacion-neumaticos-Tenerife_0_517598650.html

Y Diario de Avisos, URL: <http://diariodeavisos.elespanol.com/2016/05/los-neumaticos-del-pirs-tambien-estan-sospecha/>

[63], [64] y [65] Radio Televisión Española, URL: <http://www.rtve.es/noticias/20160516/otros-vertederos-neumaticos-punto-mira-tras-incendio-sesena/1351385.shtml>

Periódico El País, URL: https://politica.elpais.com/politica/2017/06/19/actualidad/1497889171_344312.html

https://elpais.com/ccaa/2016/12/26/madrid/1482752006_712895.html

Periódico digital El confidencial, URL:
http://www.elconfidencialdigital.com/seguridad/toneladas-neumaticos-Sesenas-control-Espana_0_2713528634.html

Periódico El Diario, URL:
http://www.eldiario.es/clm/Preguntas-respuestas-vertedero-neumaticos-Sesena_0_642885855.html

[66] y [67] Periódico la Vanguardia, URL:
<http://www.lavanguardia.com/local/madrid/20160514/401790143564/contaminacion-sesena-midiendo-incorrectamente.html>

Boletín Oficial del estado, R.D. 102/2011 de 28 de enero, Anexo I al XVII relativo a la calidad del aire. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-1645>

[68] Periódico El País, URL:
https://politica.elpais.com/politica/2016/05/13/actualidad/1463167344_149129.html

[69] Radio Televisión Española, URL:
<http://www.rtve.es/noticias/20160516/otros-vertederos-neumaticos-punto-mira-tras-incendio-sesena/1351385.shtml>

[70] Periódico digital Ecodiario.es, URL:
<http://ecodiario.economista.es/internacional/noticias>

[/6707378/05/15/Los-arrecifes-artificiales-de-neumaticos-un-experimento-decepcionante.html](http://6707378/05/15/Los-arrecifes-artificiales-de-neumaticos-un-experimento-decepcionante.html)

Periódico digital 20 Minutos, URL:
<http://www.20minutos.es/noticia/221691/0/arrecife/artificial/neumaticos/>

Web ecologista Ideas Verdes, URL:
<http://www.ideasverdes.es/el-fracaso-del-arrecife-artificial-de-neumaticos/>

[71] Noticias Antena 3 Canarias, URL:
http://www.antena3.com/canarias/noticias/ciencia/medioambiente/sacan-casi-toneladas-neumaticos-manana_2016052000112.html

[72] Periódico digital Altavoz, URL:
http://www.vozpopuli.com/altavoz/next/Ciencia-Medioambiente-Oceanos-Biologia_marina-Biologia-Contaminaciones-Contenedores_0_698930155.html

Artículo científico: “Deep-sea faunal communities associated with a lost intermodal shipping container in the Monterey Bay National Marine Sanctuary, CA”, URL:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14002264>