

# GUÍA DE GESTIÓN DE ACOPIOS DE NEUMÁTICOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL: PREVENCIÓN DE RIESGOS, GESTIÓN DE RESIDUOS Y RESTAURACIÓN



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA Y PESCA,  
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



# GUÍA DE GESTIÓN DE ACOPIOS DE NEUMÁTICOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL: PREVENCIÓN DE RIESGOS, GESTIÓN DE RESIDUOS Y RESTAURACIÓN



MADRID, 2017



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este documento recoge trabajos realizados en la “Encomienda de gestión encargada a la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales, S.A., S.M.E., M.P. (EMGRISA) para la realización de la guía de gestión de acopios históricos de neumáticos: prevención de riesgos, gestión de residuos y restauración a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural (DGCEAMN) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente” de agosto de 2016.

Autoras: Ana Sanz Gaspar, Cristina Mora Navarro, Elena Fernández Arauzo y Ana Fernández Palop.

Las autoras de esta guía desean expresar su agradecimiento a las CCAA y a las siguientes entidades y empresas, sin cuya inestimable ayuda y colaboración esta guía no hubiera sido posible: SIGNUS, TNU, OFICEMEN, Valoriza Servicios Ambientales, Neumastock, Aliapur y Alberta Recycling.



## MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

### Edita:

© Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente  
Secretaría General Técnica  
Centro de Publicaciones

### Distribución y venta

Paseo de la Infanta Isabel, 1  
28014 Madrid  
Teléfono: 91 347 55 41  
Fax: 91 347 57 22

### Diseño y maquetación:

Solana e hijos, Artes Gráficas, S.A.U.

Tienda virtual: [www.mapama.es](http://www.mapama.es)  
[centropublicaciones@mapama.es](mailto:centropublicaciones@mapama.es)

### Impresión y encuadernación:

Solana e hijos, Artes Gráficas, S.A.U.

© Empresa para la Gestión de Residuos Industriales, S.A., S.M.E., M.P. (EMGRISA)  
C/ Conde de Peñalver, 38 3ª Planta  
Teléfono: 91 411 92 15 / Fax: 91 564 58 05

NIPO (papel): 013-17-124-2

NIPO (línea): 013-17-125-8

Depósito Legal: M-16604 - 2017

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:  
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

**Datos técnicos:** Formato 17x24 cm. Caja de texto: 14x19 cm. Composición: Una columna. Tipografía: ITC Garamond Std Book a cuerpo 10. Encuadernación: Rústica, cosido hilo. Papel: Estucado mate de 115 grs. Cubierta en cartulina estucada de 350 grs. 100% libre de cloro, 4/4 tintas, plastificado mate.

Impreso en papel reciclado al 100%

## Índice de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2. DEFINICIONES</b> .....	11
<b>3. ASPECTOS GENERALES DE LOS ACOPIOS DE NFU</b> .....	16
3.1. TIPOS, COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS .....	16
3.1.1. Tipos de neumáticos .....	16
3.1.2. Composición de los neumáticos .....	16
3.1.3. Estructura de los neumáticos .....	17
3.1.4. Características de los neumáticos .....	18
3.2. GENERACIÓN DE ACOPIOS DE NFU .....	19
3.3. PROBLEMÁTICA DE LOS ACOPIOS DE NFU .....	22
3.3.1. Factores que influyen en el nivel de riesgo de un acopio .....	22
3.3.2. Riesgos asociados .....	22
<b>4. INVENTARIO Y PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES EN ACOPIOS</b> .....	27
4.1. IDENTIFICACIÓN E INVENTARIO DE LOS ACOPIOS .....	27
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACOPIOS .....	28
4.3. ESTIMACIÓN DE CANTIDADES ACOPIADAS .....	29
4.4. METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES .....	32
4.4.1. Criterios iniciales de evaluación .....	32
4.4.2. Ponderación .....	34
4.4.3. Criterios secundarios de evaluación .....	37
<b>5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ACOPIOS DE NFU</b> .....	39
5.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ACOPIOS EXTERIORES .....	39
5.1.1. Medidas de prevención de propagación de plagas y enfermedades .....	39
5.1.2. Medidas de prevención de generación de incendios .....	40
5.1.3. Medidas de prevención de contaminación de suelos y aguas .....	46
5.2. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ACOPIOS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS .....	46

5.2.1.	Medidas de prevención de propagación de plagas y enfermedades .....	46
5.2.2.	Medidas de prevención de generación de incendios.....	47
5.2.3.	Medidas de prevención de contaminación de suelos y aguas.....	48
<b>6.</b>	<b>GESTIÓN DE NFU PROCEDENTES DE ACOPIOS.....</b>	<b>49</b>
6.1.	RETIRADA Y TRATAMIENTO DE NFU.....	49
6.1.1.	Manipulación y tratamiento <i>in-situ</i> .....	49
6.1.2.	Tratamiento externo de NFU .....	54
6.2.	PREPARACIÓN PARA LA REUTILIZACIÓN DE NFU .....	57
6.3.	VALORIZACIÓN MATERIAL DE NFU .....	58
6.4.	VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE NFU .....	65
6.5.	CONSIDERACIONES EN LA CONTRATACIÓN DE SERVICIOS .....	66
<b>7.</b>	<b>REHABILITACIÓN DEL TERRENO AFECTADO EN ACOPIOS DE NFU DESMANTELADOS.....</b>	<b>69</b>
7.1.	CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MEDIO .....	69
7.1.1.	Actuaciones de caracterización.....	69
7.1.2.	Informe de los trabajos realizados .....	70
7.2.	REHABILITACIÓN DEL TERRENO .....	70
7.2.1.	Actuaciones previas.....	71
7.2.2.	Técnicas de descontaminación .....	71
7.2.3.	Remodelación topográfica del terreno .....	73
7.2.4.	Control de la erosión .....	73
7.2.5.	Revegetación y restauración paisajística .....	73
7.2.6.	Documentación de las actuaciones .....	73
<b>8.</b>	<b>COSTES ESTIMADOS DE LA GESTIÓN DE ACOPIOS .....</b>	<b>74</b>
8.1.	COSTES DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS .....	74
8.1.1.	Plagas y enfermedades .....	74
8.1.2.	Incendios .....	75
8.1.3.	Contaminación de suelos y aguas .....	75
8.2.	COSTES DE TRATAMIENTO DE NFU.....	76
8.2.1.	Aspectos generales que influyen en el coste de la gestión .....	76
8.2.2.	Costes aproximados de cada una de las fases de la cadena de valor .....	76
8.2.3.	Costes aproximados de la gestión exterior .....	79
8.3.	COSTES DE LA REHABILITACIÓN DEL ESPACIO NATURAL.....	80
8.3.1.	Estimación de costes de caracterización del medio.....	80
8.3.2.	Estimación de costes de rehabilitación del emplazamiento .....	80
8.3.3.	Remodelación topográfica del terreno .....	80
8.3.4.	Control de la erosión .....	80
8.3.5.	Revegetación y restauración paisajística .....	81
<b>9.</b>	<b>OTRAS CONSIDERACIONES .....</b>	<b>83</b>
9.1.	NEUMÁTICOS DE BICICLETA .....	83
9.1.1.	Procedencias de los neumáticos.....	83
9.1.2.	Agentes responsables de su gestión.....	84
9.2.	NEUMÁTICOS DE DIÁMETRO >1.400 MM.....	86

<b>10. ANEXOS</b> .....	87
ANEXO I. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CARACTERIZACIÓN DE ACOPIOS DE NFU.....	87
ANEXO II. FÓRMULAS PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LAS PILAS .....	93
<b>11. REFERENCIAS</b> .....	95

## Índice de tablas

TABLA 1. Composición media de los principales tipos de neumáticos (%).....	16
TABLA 2. Tipos y pesos de NFU.....	19
TABLA 3. Densidades para estimar la cantidad de NFU en una pila (t/m <sup>3</sup> ).....	30
TABLA 4. Densidades para estimar la cantidad de NFU no enteros (t/m <sup>3</sup> ).....	31
TABLA 5. Puntuación asignada por toneladas de NFU existentes.....	34
TABLA 6. Ejemplo de priorización de acopios de NFU .....	36
TABLA 7. Procedencia de los neumáticos y condición que adquiere el residuo .....	83

## Índice de fotografías

FOTOGRAFÍA 1. Detalles de la sección de un NFU de turismo. Líneas de acero en el caucho....	16
FOTOGRAFÍA 2. Pila de acopio de NFU .....	20
FOTOGRAFÍA 3. Neumáticos industriales y agrícolas en acopios históricos.....	21
FOTOGRAFÍA 4. Agua acumulada en el interior de los NFU .....	23
FOTOGRAFÍA 5. Aspecto de los residuos remanentes tras un incendio en un acopio de NFU ...	25
FOTOGRAFÍA 6. Disposición de NFU (a granel, apilados o entrelazados).....	31
FOTOGRAFÍA 7. Cortafuegos exterior de un acopio de NFU .....	43
FOTOGRAFÍA 8. Maquinaria para carga de NFU en el acopio.....	51
FOTOGRAFÍA 9. Aplicaciones materiales de NFU enteros .....	59
FOTOGRAFÍA 10. Granulado de caucho procedente de NFU y algunas de sus aplicaciones ma- teriales .....	62
FOTOGRAFÍA 11. Jaula de recogida de NFU de bicicletas en Alberta, Canadá.....	84

## Índice de figuras

FIGURA 1. Estructura de un neumático .....	17
FIGURA 2. Características de los elementos de un neumático.....	18

FIGURA 3. Acopios abandonados inventariados en España .....	28
FIGURA 4. Distancias mínimas recomendadas entre los diferentes elementos del acopio.....	44
FIGURA 5. Principales opciones a considerar en la gestión de NFU procedentes de un acopio ...	57
FIGURA 6. Opciones de valorización material para la gestión de NFU procedentes de un acopio	64



**L**os acopios de neumáticos al final de su vida útil (en adelante, NFU) son susceptibles de convertirse en acumulaciones que no cumplen con la normativa establecida, localizándose, en la mayoría de las ocasiones, en espacios abiertos, sin delimitar ni señalar y careciendo de las medidas de seguridad y control de incendios pertinentes.

Los acopios históricos de NFU son acumulaciones que se produjeron antes de la publicación del Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. La mayoría de estos acopios están abandonados.

Sin embargo, algunos acopios de NFU creados a posteriori, a pesar de tener las autorizaciones ambientales correspondientes podrían llegar a ser abandonados (sobre todo por motivos económicos) y convertirse, en un corto plazo, en acopios con las mismas características que los históricos.

Actualmente existen en España numerosos acopios de NFU que, en muchos casos, suponen un impacto adverso para la salud y seguridad humana y para el medio ambiente.

El Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) no tiene competencias ejecutivas y de gestión sobre los NFU, siendo la responsabilidad de la ejecución y gestión de la política de residuos competencia de las Comunidades Autónomas (CCAA). Según el artículo 12.4.b) de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, que transpone a nuestro régimen jurídico la Directiva Marco de Residuos – Directiva 2008/98/CE, corresponde a las CCAA la autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de residuos.

El objeto de esta guía es proporcionar a las CCAA y a todos los actores implicados (ayuntamientos, gestores y ciudadanos afectados en general) unas directrices básicas a la hora de enfrentarse con el problema de la gestión de los acopios de NFU abandonados.



## DEFINICIONES

---

<b>Aceite pirolítico</b>	Residuo líquido producido por la descomposición termoquímica de los neumáticos en incendios de acopios, con capacidad de fluir por la superficie del terreno o infiltrarse hacia capas inferiores del suelo.
<b>Acero</b>	Resultado del procesado de los NFU por el que los alambres de acero se separan de las fracciones de caucho y textiles.
<b>Acopio histórico</b>	Acumulaciones que se produjeron antes de la publicación del Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso.
<b>Aplicaciones energéticas</b>	Utilización de los NFU, fundamentalmente triturados y/o fragmentados como combustible de sustitución en cementeras, calderas industriales o centrales térmicas. Generación de electricidad en incineradoras con recuperación de energía.
<b>Aplicaciones materiales</b>	Utilización de los NFU, ya sea enteros, embalados, cortados, triturados y/o fragmentados en la obtención de nuevos materiales o parte de ellos.
<b>Balas de neumáticos</b>	Grupo de neumáticos comprimidos con prensas hidráulicas aseguradas con alambres de elevada resistencia, de manera que no pierdan su forma.
<b>Chip</b>	El resultado de procesos mecánicos mediante los cuales los NFU se fragmentan, rompen o rasgan en partes irregulares de entre 10 a 50 mm.
<b>Desvulcanización</b>	Tratamiento del caucho que consiste en la rotura selectiva del enlace químico entrecruzado del azufre, obteniéndose un material procesable que simula muchas de las propiedades del caucho virgen.

---

<b>Gasificación</b>	Tratamiento térmico que consiste en el calentamiento a alta temperatura (entre 600 y 1.600°C) del triturado de NFU en ausencia de oxígeno o a baja concentración del mismo.
<b>Gestor de NFU</b>	La persona física o jurídica que realice cualesquiera operaciones de gestión de NFU y que esté autorizada al efecto.
<b>Granulado</b>	Resultado del procesamiento del caucho para reducirlo hasta obtener partículas finamente dispersas de entre 0,8 mm y 20 mm.
<b>Lixiviado de un NFU</b>	Líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un NFU. El lixiviado generalmente arrastra parte de los compuestos presentes en el NFU.
<b>Neumático al final de su vida útil (NFU)</b>	Neumático a cuyo tratamiento se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional.
<b>Neumático triturado</b>	Neumático desmenuzado en trozos más pequeños por una máquina trituradora.
<b>Pilas de neumáticos</b>	Acumulación aislada de neumáticos dispuestos de forma ordenada o desordenada.
<b>Pirólisis</b>	Descomposición térmica a temperaturas entre 400 y 700 °C del caucho en ausencia de oxígeno, que lo descompone químicamente en aceite, gas y negro de humo. Es un proceso específico dentro de la gasificación.
<b>Polvo de caucho</b>	Resultado del procesamiento del caucho para reducirlo en tamaño con el fin de conseguir partículas finamente dispersas típicamente inferiores a 0,8 mm.
<b>Poseedor</b>	El generador de NFU o la persona física o jurídica que los tenga en su poder y no tenga la condición de gestor de NFU.
<b>Productor de neumáticos</b>	La persona física o jurídica que fabrique, importe o adquiera en otros estados miembros de la Unión Europea, neumáticos que sean puestos en el mercado nacional.
<b>Preparación para la reutilización</b>	Operación de valorización consistente en la comprobación, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.

---

<b>Raspaduras</b>	Trozos de NFU que se obtienen durante el proceso de recauchutado, procedentes del raspado de las bandas de rodadura, suelen tener un tamaño comprendido entre 0 y 40 mm.
<b>Recauchutado</b>	Proceso que consiste, fundamentalmente, en sustituir por una nueva la banda de rodamiento del neumático usado, cuya carcasa aún conserva las condiciones suficientes para permitir su utilización, de acuerdo con la legislación y normas técnicas en vigor.
<b>Reciclado</b>	Proceso por el cual los NFU vuelven a ser procesados como productos, materiales o sustancias para cualquier fin. No incluye la recuperación de energía o el reprocesamiento en materiales que serán utilizados como combustible o en operaciones de relleno.
<b>Sistema integrado de gestión de NFU</b>	El conjunto de relaciones, procedimientos, mecanismos y actuaciones que, previa autorización por las comunidades autónomas en cuyo ámbito territorial se implanten, y sujeto a supervisión por éstas, ponen en práctica los productores de neumáticos junto a otros agentes económicos interesados, mediante acuerdos voluntarios u otros instrumentos de responsabilidad compartida, con la finalidad de garantizar la correcta gestión de los NFU.
<b>Textiles</b>	Resultado del procesado de los NFU por el que las fibras textiles se separan de las fracciones de acero y caucho.
<b>Trituración primaria</b>	Tratamiento mecánico a través de la cual se obtienen trozos y fragmentos de NFU bastante irregulares comprendidos entre 50 y 300 mm.
<b>Trituración secundaria</b>	Tratamiento mecánico posterior al anterior, a través de la cual se reduce el tamaño entre 10 y 50 mm de los fragmentos obtenidos y se separa gran parte del acero y del textil.
<b>Triturado</b>	Resultado de procesos mecánicos mediante los cuales los NFU se fragmentan, rompen o rasgan en piezas irregulares típicamente de entre 10 mm y 300 mm en cualquier dimensión.

---



## ASPECTOS GENERALES DE LOS ACOPIOS DE NFU

### 3.1. TIPOS, COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS

#### 3.1.1. Tipos de neumáticos

**E**xisten distintas clasificaciones de los neumáticos en función de sus diferentes características, como por ejemplo, según el tipo cámara o tipo de fabricación, pero atendiendo al tipo vehículo para el que están destinados, se pueden clasificar en los siguientes tipos de neumáticos:

- Turismos
- Camiones ligeros
- Camiones/autobuses
- Quads y sus derivados
- Agrícolas
- Industriales o OTR (Off The Road)
- Aeronaves
- Motos
- Bicicletas

La composición y características varían de un tipo neumático a otro e incluso dentro de un mismo tipo, pueden existir enormes diferencias.

#### 3.1.2. Composición de los neumáticos

En la fabricación de los neumáticos se emplean más de 200 componentes diferentes, partiendo de una base de caucho a la que se añaden gran número de productos químicos y diversos elementos metálicos y textiles.

Por ejemplo, un neumático nuevo de un turismo medio, que pesa aproximadamente 10 kg contiene:

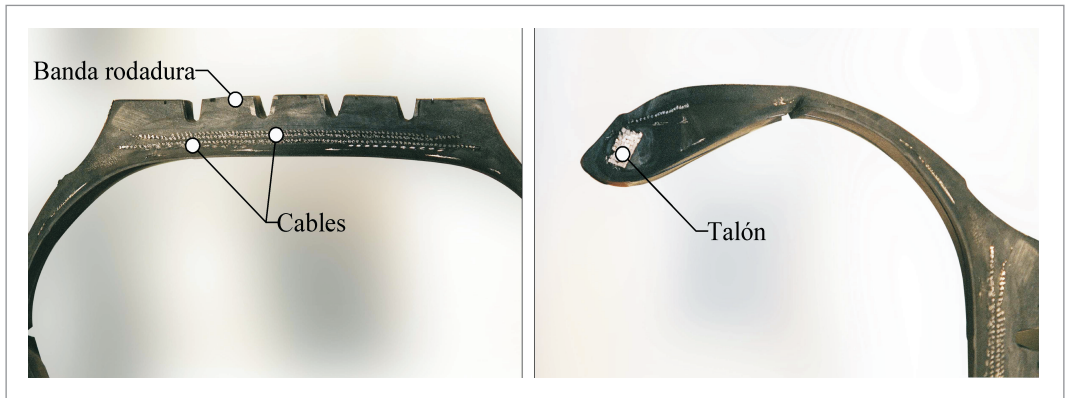
- 30 tipos diferentes de caucho sintético
- 8 tipos de caucho natural
- 8 tipos de negro de carbono
- Cable y fibra de acero
- Fibra de poliéster y nylon
- 40 productos químicos diferentes, como ceras, aceites, pigmentos, sílices y arcillas.

La composición media de los principales tipos de neumáticos es la que se muestra en la Tabla 1. Detalles de una sección de NFU de turismo se muestran en la Fotografía 1.

Tipo de neumático	Caucho (%)	Acero (%)	Textil (%)
<b>Turismo</b>	79	16	5
<b>Camión</b>	73	26,5	0,5
<b>Industriales (obra civil)</b>	86	11	3
<b>Agrícola</b>	80	3	17

[Fuente SIGNUS]

TABLA 1. *Composición media de los principales tipos de neumáticos (%)*



[Fuente SIGNUS]

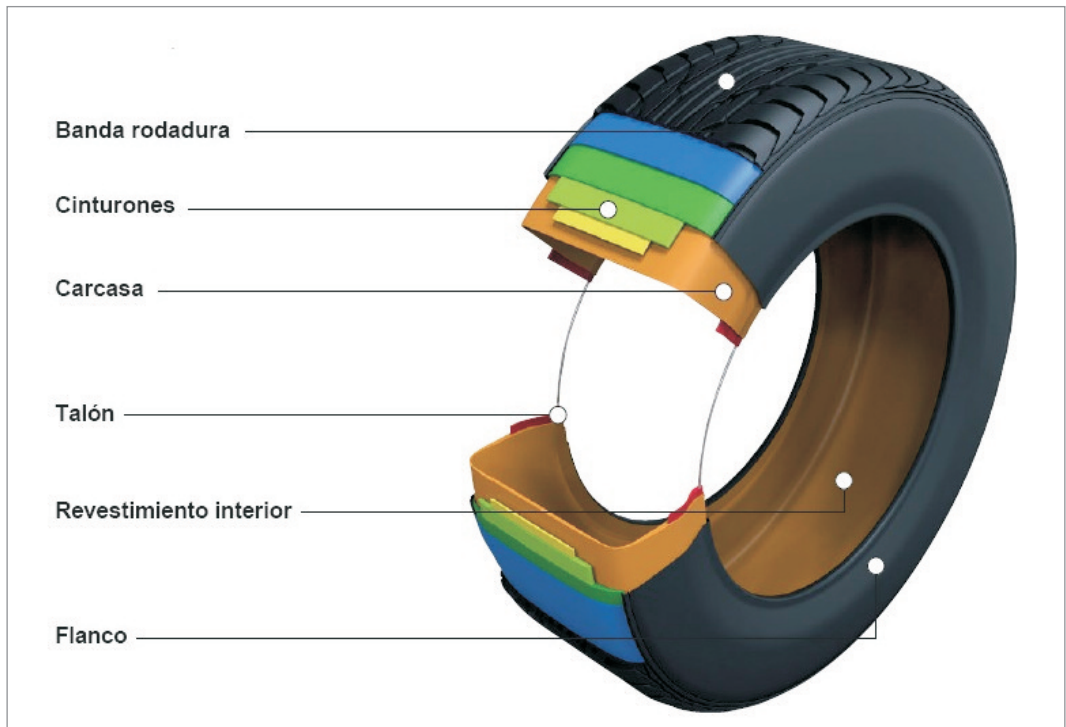
FOTOGRAFÍA 1. *Detalles de la sección de un NFU de turismo. Líneas de acero en el caucho*



En cuanto a las sustancias peligrosas, un neumático contiene aproximadamente un 1,5% en peso de compuestos peligrosos como Cd, compuestos de Zn, Cu o Pb, soluciones ácidas o ácidos en forma sólida y compuestos organohalogenados.

### 3.1.3. Estructura de los neumáticos

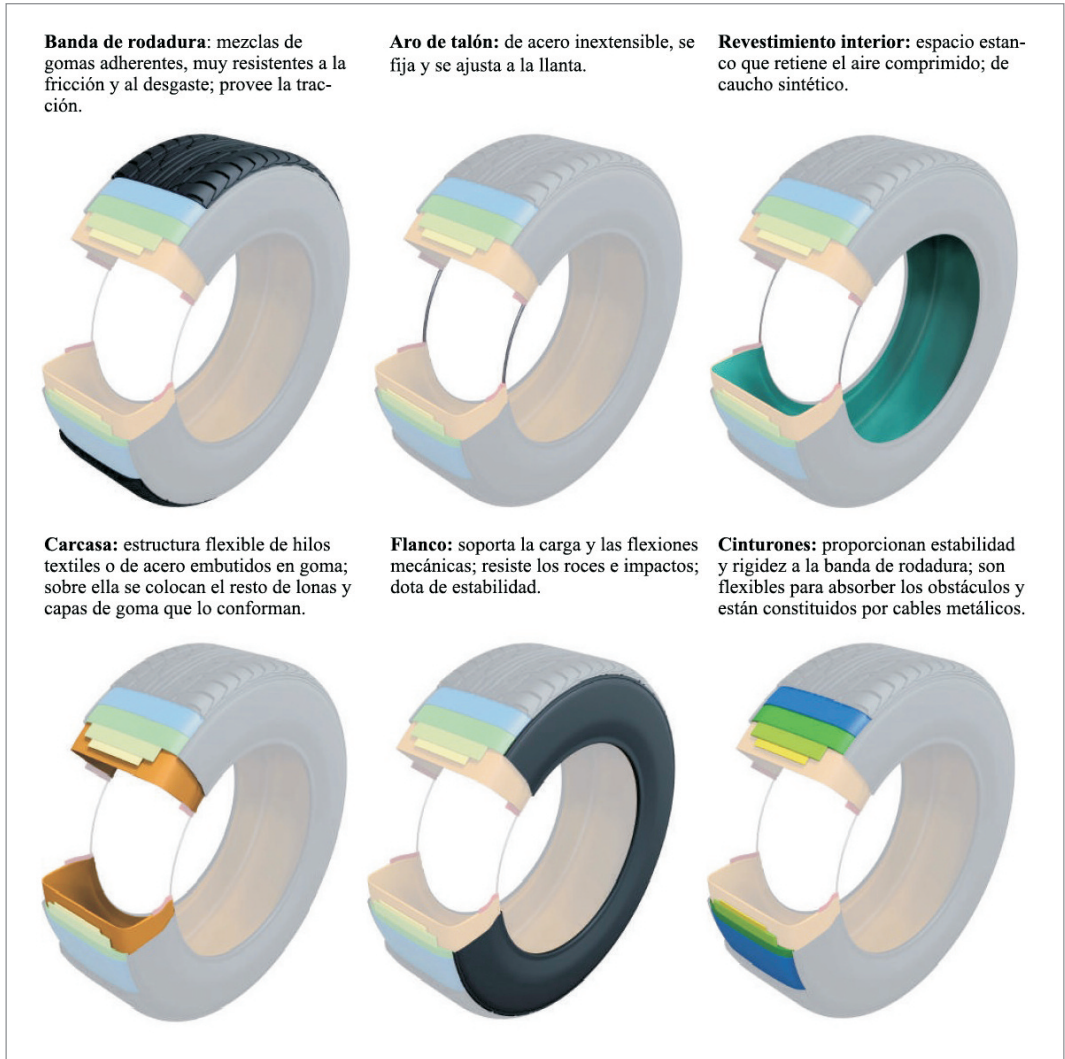
Un neumático está compuesto de numerosos elementos cuya disposición espacial se expone en la Figura 1.



[Fuente: TNU]

FIGURA 1. Estructura de un neumático

Las principales características de estos elementos se muestran en la Figura 2.



[Fuente: TNU]

FIGURA 2. Características de los elementos de un neumático

### 3.1.4. Características de los neumáticos

Para poder cumplir con sus funciones, los neumáticos deben cumplir una serie de características, que son las siguientes:

- Capacidad de absorción de vibraciones
- Capacidad de tracción

- Adherencia
- Gran capacidad de drenaje
- Peso reducido
- Elevada resistencia al corte
- Alta resistencia a agentes climatológicos
- Flexibilidad
- Alto poder calorífico

Por otra parte, las características básicas identificativas de cada neumático son el ancho de sección, el perfil, el índice de carga, el índice o código de velocidad y el índice de ruido o rumorosidad.

En cuanto a las características físicas, la más importante a la hora de proceder a su gestión, es el peso, que incluso para un mismo tipo de neumáticos, varía en función de su composición. En la Tabla 2 se exponen valores medios de peso por tipo de neumático.

Tipo de vehículo	Kg por neumático
<b>Moto, scooter, ciclomotor</b>	4
<b>Turismo</b>	7
<b>Todoterreno, camioneta</b>	12
<b>Camión</b>	58
<b>Agrícola (&lt;1.400 mm)</b>	35
<b>Agrícola (&gt;1.400 mm)</b>	113
<b>Industrial (&lt;1.400 mm)</b>	157
<b>Industrial (&gt;1.400 mm)</b>	405

[Fuente: SIGNUS y TNU]

TABLA 2. *Tipos y pesos de NFU*

Para los NFU de procedencia agrícola la variedad de peso en este tipo de neumáticos es especialmente elevada. Por ejemplo, en el caso de los tractores agrícolas, existen diferencias de peso y de tamaño entre las ruedas delanteras y traseras.

En cuanto a las propiedades térmicas, el valor calorífico neto de un neumático es de entre 26 y 34 GJ/t, que es similar al de las fuentes de combustible comunes. Un neumático es difícil de prender pero se quema casi completamente a 650°C, produciendo principalmente CO<sub>2</sub>, agua y residuos como cenizas y otros residuos sin quemar.

### 3.2. GENERACIÓN DE ACOPIOS DE NFU

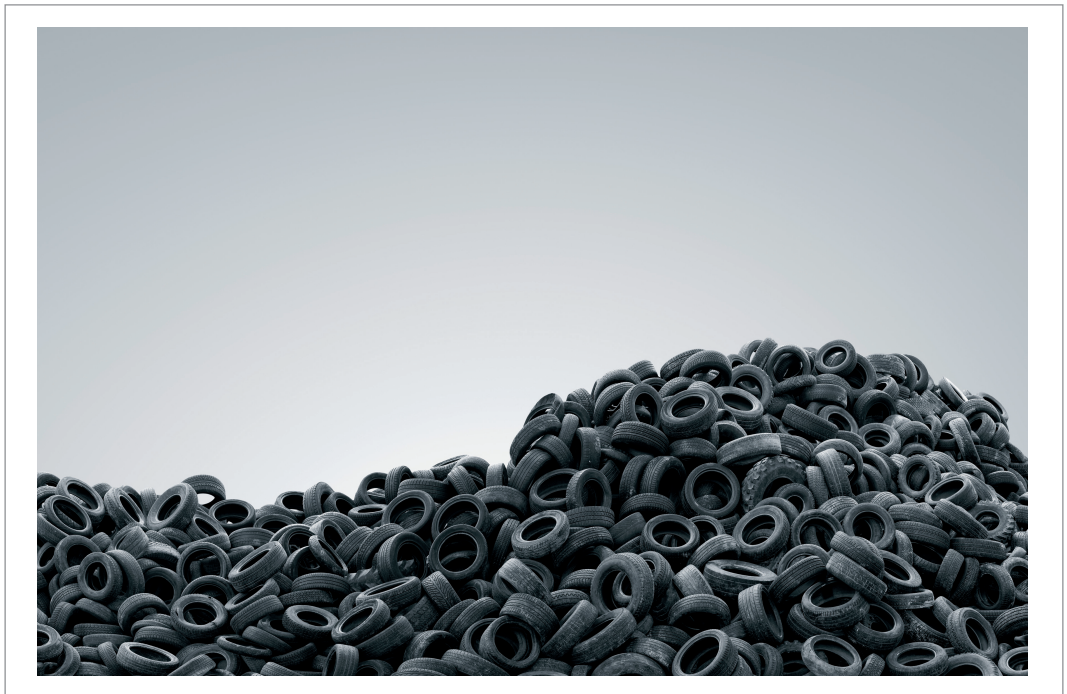
Los neumáticos están entre las fuentes de residuos más problemáticas, debido al gran volumen de generación, el elevado tiempo en descomponerse, y el hecho de que

contienen componentes que son ambientalmente problemáticos sin son quemados al aire libre.

El tratamiento de los NFU generalmente requiere altos costes de procesamiento, lo que provoca que se generen acumulaciones de estos residuos en numerosos emplazamientos.

Los diferentes tipos de acopios existentes en España se han generado por diferentes causas.

En términos generales, los **acopios exteriores** se generan cuando una empresa recibe NFU, cobrando para realizar una correcta gestión del residuo, que luego no realiza. En la Fotografía 2 se muestra un ejemplo de acumulación de NFU en exteriores.



[Fuente: TNU]

FOTOGRAFÍA 2. Pila de acopio de NFU

Los **acopios en zonas industriales** suelen tener su origen cuando se realiza el almacenamiento temporal de neumáticos usados para su posterior venta como productos de segunda mano. Al no conseguir los gestores una salida rentable para los mismos, debido a que el volumen de NFU en preparación para reutilización es menor que el NFU destinado a ser tratado, el almacenamiento pasa a adquirir un carácter indefinido.

En cuanto a los **acopios en barrancos o en depresiones artificiales o naturales**, generalmente en localizaciones remotas, los neumáticos vertidos proceden de productores o poseedores de NFU de la zona que no quieren pagar por la gestión de los mismos.

Los neumáticos que son más susceptibles de ser acopiados, son los NFU agrícolas e industriales de diámetro superior a 1.400 mm, excluidos del alcance del Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, debido a que su tratamiento es más caro.

En la Fotografía 3 se exponen ejemplos de neumáticos industriales y agrícolas presentes en los acopios objeto de estudio.



[Fuente: EMGRISA]

FOTOGRAFÍA 3. *Neumáticos industriales y agrícolas en acopios históricos*

### **3.3. PROBLEMÁTICA DE LOS ACOPIOS DE NFU**

#### **3.3.1. Factores que influyen en el nivel de riesgo de un acopio**

Algunos factores generales que influyen en el nivel de riesgo de un acopio, son los siguientes:

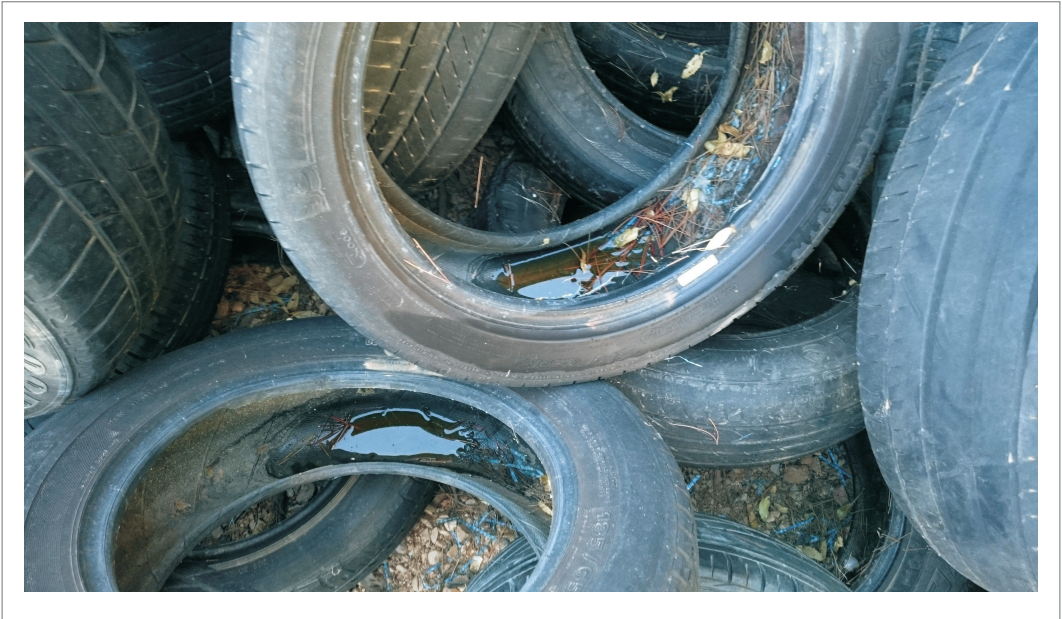
- Tiempo de almacenamiento: cuanto mayor tiempo lleven los NFU acumulados sin tratar, menores son las opciones de gestión y mayor es el riesgo de que el propietario abandone la instalación.
- Cantidad de NFU almacenados: cuanto mayor sea el número de neumáticos almacenados sin tratar, mayor es el riesgo ambiental que podrá generar el acopio.
- Control de calidad: cuanto mayor sea el nivel de control de calidad, menor es el riesgo de que los NFU se gestionen de forma inadecuada.
- Infraestructura del emplazamiento: a un mayor nivel de infraestructura en general, menores efectos ambientales adversos.
- La localización del emplazamiento: con carácter general, las instalaciones de almacenamiento situadas en zonas industriales representan menor riesgo que las situadas en zonas rurales o no urbanizadas.

#### **3.3.2. Riesgos asociados**

A continuación se exponen los riesgos más importantes asociados a los acopios de NFU.

##### **3.3.2.1. Riesgo de propagación de plagas y enfermedades**

El agua estancada en los neumáticos favorece la reproducción de mosquitos, hasta 4.000 veces más que en la naturaleza, ya que encuentran en los mismos un hábitat cálido y oscuro. Estos mosquitos pueden transmitir enfermedades infecciosas tales como el dengue o la encefalitis. En la Fotografía 4, se expone cómo se acumula en agua en el interior de los neumáticos.



[Fuente: EMGRISA]

FOTOGRAFÍA 4. *Agua acumulada en el interior de los NFU*

También son lugares donde las ratas pueden establecer sus nidos. Estos animales, como los parásitos que llevan consigo (pulgas, garrapatas y piojos) pueden transmitir más de 70 enfermedades, desde la transmisión de la peste bubónica hasta el tifus y el hantavirus.

En España todavía no ha habido casos autóctonos de dengue. A pesar de ello, en el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, existe personal que hace seguimiento activo de este tipo de enfermedades vectoriales, ya que el *Aedes aegypti* y el *Aedes albopictus* (ambos portadores del virus del dengue) tienen cada vez más presencia en la zona mediterránea.

#### 3.3.2.2. Riesgo de incendios

Los neumáticos enteros no entran en ignición fácilmente porque están diseñados para absorber el calor generado por la fricción en contacto con la carretera. Sin embargo, una vez que la ignición tiene lugar, esta misma habilidad de los neumáticos para absorber el

calor hace muy difícil la extinción del fuego. A pesar de que en la extinción se enfría el neumático, muchas veces el calor latente almacenado en los mismos puede volver a generar un incendio.

Una vez generado, un incendio en un acopio tiende a propagarse rápidamente, pudiendo causar daños a la salud pública y al medio ambiente. Es el mayor riesgo asociado con los acopios de NFU. Por ello, es aconsejable retirar la máxima cantidad de NFU sin quemar con maquinaria pesada para minimizar los daños a la salud humana y al medio ambiente.

Los incendios producen afección a diferentes medios:

### Aire

La combustión al aire libre es una combustión incompleta que, además de un intenso calor, emite **humo negro y espeso** de diversos grados de nocividad.

Los productos de descomposición dependen de factores como el tipo de neumático, el tamaño de pila, la temperatura ambiente y la humedad, entre otros.

### Aguas

La combustión incompleta del caucho produce **aceites pirolíticos** que pueden infiltrarse en el terreno o bien ser transportados por el agua si ésta se utiliza para apagar el fuego. También pueden generarse otros residuos tales como sales de zinc que contienen trazas de Cd y Pb. Estas sustancias pueden causar daño a la flora, la fauna e incluso al medio acuático.

### Suelo

Los restos que permanecen en el emplazamiento después de un incendio pueden causar contaminación instantánea por los productos de descomposición que penetran en el suelo, si este último es permeable, y contaminación gradual por **lixiviación** de cenizas y residuos no quemados.

En la Fotografía 5 se muestra el aspecto de los residuos remanentes tras un incendio en un acopio de NFU.





[Fuente: EMGRISA]

FOTOGRAFÍA 5. *Aspecto de los residuos remanentes tras un incendio en un acopio de NFU*

### 3.3.2.3. Riesgo de contaminación de suelos y aguas

Existen numerosos estudios de caracterización de la lixiviación procedente de neumáticos situados en instalaciones de fabricación y almacenamiento y también de la lixiviación producida a partir de sus diferentes aplicaciones de reciclado.

Los factores que pueden afectar la tasa de lixiviación y/o la concentración de compuestos en los lixiviados de neumáticos en el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales son los siguientes:

- Tamaño del neumático: la lixiviación de neumáticos enteros es probable que sea más lenta que la producida a partir de astillas o tiras de neumáticos, debido a la diferencia en la relación entre superficie y volumen.
- Cantidad de acero expuesto: si el acero está expuesto es probable que la lixiviación de Mn y Fe sea más rápida que en neumáticos enteros.
- Ambiente químico: es probable que la lixiviación de los metales sea más rápida en condiciones ácidas, mientras que es probable que la lixiviación de compuestos orgánicos sea más rápida en condiciones básicas.
- Permeabilidad del suelo: la infiltración/percolación es más rápida en suelos permeables.

- Distancia al nivel freático: cuanto mayor es la distancia vertical a la capa freática, menos probable es que se produzca contaminación de las aguas subterráneas.
- Distancia desde el lugar de almacenamiento de neumáticos: con carácter general, cuanto mayor sea la distancia aguas abajo del lugar de almacenamiento de los neumáticos, menor es la concentración de contaminantes en el suelo y aguas subterráneas.
- Tiempo de contacto con el agua: cuanto más tiempo están los neumáticos en contacto con el agua, mayor es el riesgo de contaminación del agua subterránea.
- Cantidad de agua a través del suelo: cuanto mayor es el flujo de agua a través del suelo (por ejemplo, de la lluvia), mayor es la dilución de los contaminantes.
- Flujo horizontal del agua subterránea: cuanto mayor es el flujo de agua subterránea, mayor es la extensión de la pluma de contaminantes.
- Compuestos filtrados en el emplazamiento: los niveles de Al, Zn y compuestos orgánicos pueden ser elevados en las aguas subterráneas. Los niveles de Zn, Cd y Pb pueden ser elevados en el suelo.

Las sustancias que potencialmente pueden liberarse de los NFU en diferentes estados (enteros, fragmentos, astillas y polvo) son principalmente metales pesados, compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuesto orgánicos semivolátiles (SCOV).

Atendiendo a las características de los acopios (NFU en distinto grado de agregación y a la intemperie) existe la posibilidad de lixiviación de metales al subsuelo, concretamente de Fe, Mn y Zn, en concentraciones que pueden llegar a ser elevadas. No obstante, de acuerdo a los estudios existentes, se concluye que la afección no suele penetrar a capas inferiores del subsuelo.

Independientemente de los lixiviados generados por los NFU, debido a que en los acopios puede haber presencia de otro tipo de residuos con sustancias peligrosas o potencialmente contaminantes, tanto el suelo, como las aguas subterráneas y/o superficiales, pueden verse potencialmente afectados.

#### 3.3.2.4. Riesgo de inundaciones

La acumulación inadecuada de NFU puede bloquear cauces de agua, arroyos y canales de descarga de agua de lluvia, con los consiguientes cambios en la configuración del flujo superficial. Estos cambios contribuyen al riesgo de inundaciones.

## INVENTARIO Y PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES EN ACOPIOS

### 4.1. IDENTIFICACIÓN E INVENTARIO DE LOS ACOPIOS

La elaboración de un inventario de acopios abandonados por parte de las CCAA es un objetivo expuesto en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022 (PEMAR) para este tipo de residuos.

**L**os inventarios se pueden completar y/o actualizar mediante consultas a ayuntamientos, ciudadanos y a los diferentes agentes del medio natural.

La representación final en un mapa de la localización de los acopios permite a los gestores autorizados y a los ciudadanos en general, entender la extensión del problema y permite también mejorar la eficiencia en las actividades de coordinación y/o gestión.

En la Figura 3 se expone el inventario de los acopios abandonados existentes actualmente en España.

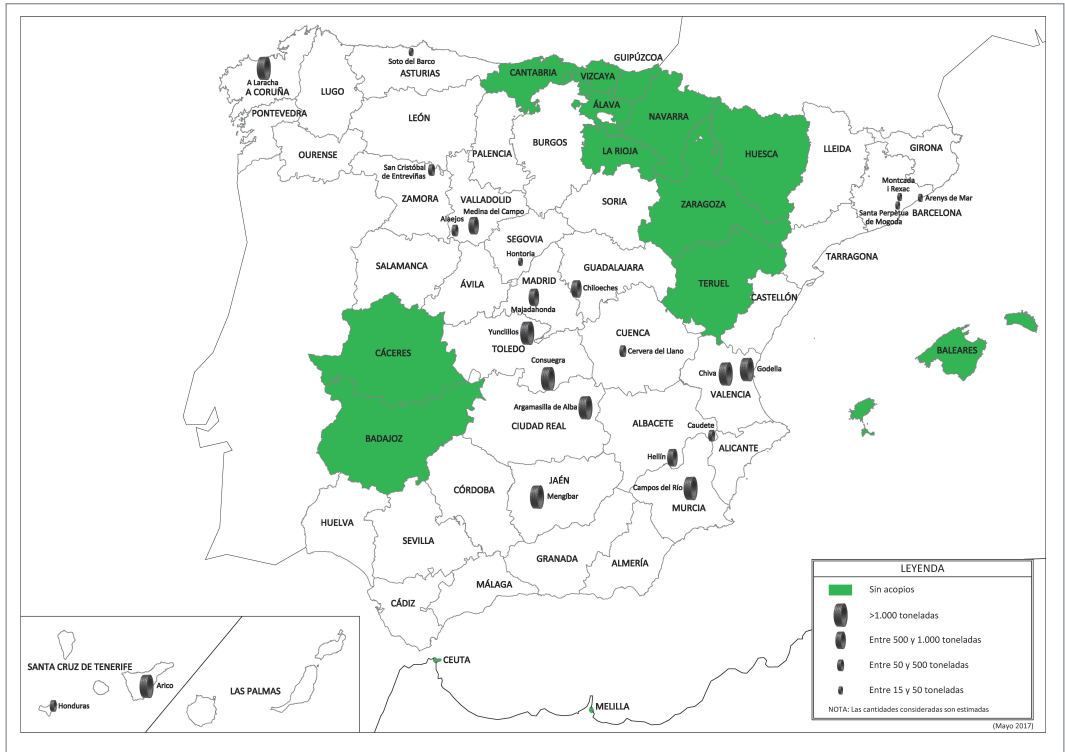


FIGURA 3. Acopios abandonados inventariados en España (mayo 2017)

Los rangos de toneladas expuestos en la Figura 3, deben considerarse de forma orientativa, siendo recomendable hacer por la autoridad competente ambiental un estudio específico por acopios abandonado.

#### 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACOPIOS

Una vez que se identifica un acopio, es necesario caracterizarlo recopilando la información que permita el establecimiento de prioridades y actividades de estabilización y/o tratamiento adecuado. Debe recogerse, como mínimo, la siguiente información:

- Ubicación y coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS).
- Estudio histórico del acopio, para conocer la evolución del mismo.
- Propietario y/u operador, incluyendo nombre, dirección, número de teléfono.
- Características de dicho depósito como dimensiones, tamaño de los neumáticos, edad, presencia de llantas, grado de compactación, la disposición de los NFU, el

porcentaje de neumáticos enteros y triturados, así como la presencia de otros residuos, especialmente si son peligrosos.

- Características del emplazamiento, tales como el espaciamiento de las pilas, las características del suelo, la topografía, el acceso y canales de drenaje, así como los cauces o masas de agua superficial cercanas, residencias, empresas, y núcleos de población. También deben ser identificadas escuelas, aeropuertos, otras grandes instalaciones públicas y rutas de transporte.
- Las condiciones del emplazamiento que afectan al control de incendios, tales como caminos de acceso, recursos hídricos, perímetro y cortafuegos internos y las características de la vegetación circundante.
- Posibles servicios afectados: por ejemplo, líneas eléctricas o de gas próximas que podrían verse afectadas en caso de incendio.
- Topografía, geología y clima, aspectos importantes en el desarrollo del plan de emergencia contra incendios y del plan de evacuación de aguas de extinción de incendios (que puede incluir diques, zonas de contención, y embalses superficiales).

En el Anexo I se incluye un ejemplo de lista de verificación de caracterización de acopios, en el que se recogen todos estos aspectos.

### 4.3. ESTIMACIÓN DE CANTIDADES ACOPIADAS

Una vez identificados los acopios, deberá estimarse la cantidad de NFU almacenada en cada uno de ellos, de manera que pueda establecerse un orden de prioridad para poder proceder a su desmantelamiento secuencial. La estimación de la cantidad de NFU presente en los acopios, es necesaria también para poder estimar los costes asociados a la gestión de los mismos.

La estimación puede realizarse por conteo directo o estimando volumétricamente el número de NFU presentes en cada una de las pilas del acopio. En el caso de que se realice un conteo directo, para estimar el número de toneladas presentes en el acopio, pueden aplicarse los pesos medios recogidos en la Tabla 2.

En general, a no ser que se trate de pilas de reducidas dimensiones o de pequeños grupos de NFU dispersos, lo normal será realizar una estimación volumétrica. En primer lugar, deberán estimarse las dimensiones de las pilas en metros cúbicos. Cada una de las pilas del acopio se ajustará, si es posible, a una forma geométrica simple (pirámide, cono, semiesfera, prisma trapezoidal, triangular, etc.). Las pilas que no puedan ajustarse por aproximación a una forma geométrica simple, deberán subdividirse en varias porciones, de manera que cada una de estas porciones se pueda ajustar finalmente a una forma geométrica. Posteriormente, se calculará el volumen de cada una de las formas obtenidas y se sumarán los volúmenes parciales obtenidos. En el Anexo II se incluye un listado con fórmulas geométricas para facilitar el cálculo del volumen de las pilas.

El dimensionamiento de las pilas debería realizarse durante la visita de inspección al acopio. En este momento, habría que recoger las medidas de las pilas con una cinta métrica, con una rueda de medición, con pasos o con otro método. No se recomienda la utilización de una rueda de medición en terrenos accidentados, mientras que, en terrenos desnivelados, se recomienda utilizar una cinta métrica. En el caso de la medición con pasos, la exactitud en la medida depende de la capacidad de la persona que la realiza en mantener un paso constante.

El cálculo de la altura de la pila de NFU resulta más complicado. Para estimar la altura, se puede colocar a una persona de altura conocida junto a la pila, mientras otra se sitúa a cierta distancia (al menos 10 veces la altura estimada de la persona) para establecer la altura de la pila en términos de la estatura de la primera persona.

Las dimensiones de las pilas también podrían establecerse con ayuda de fotografías aéreas y a través de cartografía digital con drones, aunque siempre debe realizarse una inspección visual al acopio, con el objetivo de comprobar en gabinete los resultados obtenidos con la digitalización y la inspección *in-situ*, para tener una mayor exactitud del número de toneladas acopiadas.

En el Anexo I se incluye un ejemplo de lista de verificación para la visita de inspección, en el que se incluye una tabla para recoger las mediciones de las diferentes pilas que forman el acopio.

El siguiente paso para estimar la cantidad de NFU en una pila, una vez que se ha calculado su dimensión volumétrica, consiste en asignar una densidad a la misma. En la Tabla 3 se recogen una serie de densidades para las pilas ( $t/m^3$ ), en las que se han tenido en cuenta los años de almacenamiento de la pila (más o menos de 15 años), el tipo de NFU presente (turismos o vehículos pesados), la altura de la pila (<3,0 m, entre 3,0 y 4,6 m y >4,6 m) y la disposición de los neumáticos en la pila (a granel, apilados o entrelazados):

Tipo NFU	Turismo, camioneta y 4x4 <sup>(1)</sup>			Camión <sup>(2)</sup>		
<b>Almacenamiento &lt;15 años</b>						
<b>Altura de la pila</b>	<b>&lt;3,0 m</b>	<b>3,0–4,6 m</b>	<b>&gt;4,6 m</b>	<b>&lt;3,0 m</b>	<b>3,0–4,6 m</b>	<b>&gt;4,6 m</b>
<b>A granel</b>	0,124	0,149	0,174	0,191	0,209	0,226
<b>Apilados</b>	0,149	0,174	0,199	0,319	0,336	0,348
<b>Entrelazados</b>	0,174	0,199	0,223	0,313	0,325	0,342
<b>Almacenamiento &gt;15 años</b>						
<b>Altura de la pila</b>	<b>&lt;3,0 m</b>	<b>3,0–4,6 m</b>	<b>&gt;4,6 m</b>	<b>&lt;3,0 m</b>	<b>3,0–4,6 m</b>	<b>&gt;4,6 m</b>
<b>A granel</b>	0,149	0,174	0,199	0,226	0,267	0,302
<b>Apilados</b>	0,174	0,199	0,223	0,336	0,348	0,365
<b>Entrelazados</b>	0,199	0,223	0,249	0,325	0,342	0,354

<sup>(1)</sup> Se ha considerado un peso medio para los NFU procedentes de turismo, camioneta y 4x4 de 9,5 kg.

<sup>(2)</sup> Se ha considerado un peso medio para los NFU de camión de 58 kg.

[Fuente: *CalRecycle Waste Evaluation and Enforcement Branch*<sup>[5]</sup>]

TABLA 3. Densidades para estimar la cantidad de NFU en una pila ( $t/m^3$ )

Como no se dispone de densidades para NFU de origen agrícola e industrial, en el caso de que en el acopio se identifiquen este tipo de NFU, se recomienda aumentar las densidades establecidas para NFU de camión entre un 15% y un 30%.

En la Fotografía 6 se muestran las diferentes disposiciones de NFU.



[Fuente: EMGRISA en Centro de Recogida y Clasificación (CRC) de Neumastock en Illescas, Toledo]

FOTOGRAFÍA 6. Disposición de NFU (a granel, apilados o entrelazados)

En el caso de que los NFU no se encuentren enteros, se pueden utilizar las densidades ( $t/m^3$ ) para estimar las toneladas de la Tabla 4.

NFU no enteros	
Flancos	0,289
Bandas de rodadura	
Triturado de NFU	
>50 mm	0,289
<50 mm	0,503

[Fuente: CalRecycle Waste Evaluation and Enforcement Branch<sup>[51]</sup> y Ohio Environmental Protection Agency<sup>[24]</sup>]

TABLA 4. Densidades para estimar la cantidad de NFU no enteros ( $t/m^3$ )

Existen diversos factores que pueden afectar a la estimación de los volúmenes de las pilas y la cantidad de NFU presentes en el acopio. De especial importancia resulta la topografía del terreno, ya que las irregularidades del mismo podrían complicar el cálculo, además que las pilas pueden ocultar barrancos o huecos con NFU en su interior. Por ello, resulta recomendable chequear durante la visita de inspección si existen signos de la existencia de barrancos o de movimientos de tierras, que puedan implicar la presencia de NFU enterrados. Asimismo, las pilas que se disponen sobre laderas pueden ocultar cambios de pendientes que también podrían afectar a la estimación.

Aparte de los factores indicados, el establecimiento de las dimensiones volumétricas y las densidades indicadas en las tablas anteriores también presentan incertidumbres. La suma de todas estas incertidumbres, así como la presencia de agua o tierra en los NFU a retirar, pueden ocasionar desviaciones significativas en las cantidades de NFU gestionadas finalmente, respecto de las cantidades estimadas inicialmente.

#### **4.4. METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN DE ACTUACIONES**

Puesto que los recursos para acometer la gestión de acopios son limitados, las actuaciones deben iniciarse a partir de una secuencia de prioridad basada en los riesgos asociados a los diferentes emplazamientos.

Un sistema de priorización debe reflejar los impactos actuales y potenciales sobre los ciudadanos y el medio ambiente, y en particular, los impactos sobre los receptores más sensibles, tales como escuelas y hospitales.

A modo orientativo, se propone la siguiente metodología de priorización de actuaciones, en la que se ponderan una serie de criterios de evaluación.

##### **4.4.1. Criterios iniciales de evaluación**

Para evaluar cada uno de los acopios de NFU se tienen en cuenta los siguientes criterios:

1. Toneladas de NFU en el emplazamiento
2. Ubicación sobre una masa de agua para abastecimiento
3. Proximidad a masas de agua superficial con usos específicos (situado a menos de 500 m)
4. Ubicación dentro de un área protegida
5. Proximidad a masas de agua superficial (situado a menos de 250 m)
6. Proximidad a escuelas (situadas a menos de 1 km)
7. Proximidad a centros de asistencia sanitaria (situados a menos de 1 km)
8. Proximidad a un núcleo de población (situadas a menos de 1 km)

A continuación se detallan los criterios expuestos:



### *1. Toneladas de NFU en el emplazamiento*

Las toneladas se pueden estimar a través de metodologías de estimación existentes, como la expuesta en el apartado 4.3 de la presente Guía.

### *2. Ubicación sobre una masa de agua para abastecimiento*

Concretamente ubicados en:

- Zonas en las que se realiza una captación de aguas destinadas a consumo humano
- Zonas las que se tiene previsto destinar la captación de aguas para consumo humano en un futuro
- Cuencas vertientes inmediatas a las captaciones

Este criterio pondera cuando se sospeche que existe conexión, sobre todo si el suelo sobre el que se asienta el acopio es permeable y no hay certeza de que existan capas impermeables que aíslen la masa de aguas subterránea y/o el nivel freático está cerca de la superficie.

### *3. Proximidad a masas de agua superficial con usos específicos (situado a menos de 500 m)*

Concretamente se trata de cauces:

- Con captación de aguas de consumo humano o
- Declarados para uso recreativo, incluidas las zonas declaradas aguas de baño

Los cauces se considerarán afectados si los acopios se localizan a menos de 500 m de distancia y aguas abajo existen puntos de captación y/o zonas de aguas de baño.

### *4. Ubicación dentro de un área protegida*

De todas las áreas que estén declaradas como espacios protegidos de acuerdo a lo establecido en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad y la Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modifica la anterior, como por ejemplo, ZEPA, parques nacionales, sitios Ramsar, etc.

### *5. Proximidad a masa de agua superficial (situado a menos de 250 m)*

Se consideran cauces naturales o artificiales, tanto de corriente continua como discontinua.

*6. Proximidad a escuelas (situadas a menos de 1 km)*

Concretamente de escuelas infantiles (0- 6 años), de primaria (6-12 años) y de secundaria obligatoria (12-16 años)

*7. Proximidad a centros de asistencia sanitaria (situados a menos de 1 km)*

Incluyendo desde los consultorios médicos de los ámbitos rurales a los hospitales de núcleos de población más importantes.

*8. Proximidad a un núcleo de población (situadas a menos de 1 km)*

Según el Instituto Nacional de Estadística, se denomina núcleo de población al conjunto de al menos diez edificaciones, que están formando calles, plazas y otras vías urbanas. Por excepción, el número de edificaciones podrá ser inferior a 10, siempre que la población que habita las mismas supere los 50 habitantes.

Se incluyen en el núcleo aquellas edificaciones que, estando aisladas, distan menos de 200 m de los límites exteriores del mencionado conjunto, si bien en la determinación de dicha distancia han de excluirse los terrenos ocupados por instalaciones industriales o comerciales, parques, jardines, zonas deportivas, cementerios, aparcamientos y otros, así como los canales o ríos que puedan ser cruzados por puentes.

**4.4.2. Ponderación**

Para el criterio de «Toneladas de NFU en el emplazamiento», se asignan las puntuaciones que se exponen en la Tabla 5:

<b>Toneladas de NFU</b>	<b>Puntuación</b>
60-1.499	1
1.500-4.499	2
4.500-10.499	3
10.500-17.999	4
18.000-44.999	5
45.000-89.999	6
>90.000	7

TABLA 5. Puntuación asignada por toneladas de NFU existentes

El resto de criterios tienen el mismo peso: para cada emplazamiento se asigna un punto por criterio que se cumpla.

De esta manera, un acopio que tiene pocos NFU, pero localizado próximo a servicios de salud pública, o que supone un riesgo para los recursos naturales es equivalente, en términos de riesgo, a un acopio con mayor cantidad de NFU.

El rango posible de las puntuaciones es de 1 a 14.

Un ejemplo de priorización de acopios se expone en la Tabla 6.

Acopio	Toneladas de NFU	Puntuación según Tabla 5	Ubicación sobre Masa Abastecimiento conectado	Ubicado a < 500 m de cauce con captación agua o uso recreativo	Ubicado dentro de un área protegida	Ubicado a < 250 m cauce superficial	Ubicado a < 1 km escuelas	Ubicado a < 1 km asistencia sanitaria	Ubicado a < 1 km núcleos de población	Puntuación
A	21.597	5			1	1				7
B	1.584	2	1	1						4
C	23.651	5		1						6
D	8.541	3	1	1			1	1	1	8
E	61.204	6	1							7
F	581	1				1				2
G	122.591	7	1							8
H	3.698	2								2
I	4.721	3		1						4
J	9.854	3	1			1				5
K	25.410	5								5
L	2.548	2								2
M	184.871	7								7

**Legenda**

 Prioridad Alta ( $\geq 6$ )

 Prioridad Media (3 -5)

 Prioridad Baja ( $\leq 2$ )

TABLA 6. Ejemplo de priorización de acopios de NFU

#### **4.4.3. Criterios secundarios de evaluación**

Los grupos de acopios (prioritarios y no prioritarios) pueden volver a evaluarse atendiendo a otros tipos de criterios como, por ejemplo, los relacionados con la logística (según su ubicación), o en función del presupuesto disponible para su gestión.

Se recomienda adaptar la metodología de evaluación a la realidad de los acopios de NFU evaluados. Pueden modificarse, por ejemplo, las distancias a los receptores o el rango y distribuciones de NFU.



## MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS ACOPIOS DE NFU

**E**n aquellos acopios que tras un proceso de priorización, no se vaya a actuar a corto o medio plazo, resulta necesario aplicar medidas de estabilización y de prevención de riesgos.

La mayor parte de los acopios son almacenamientos exteriores, pero aunque no tan frecuentes, también existen casos de acopios abandonados en naves. A continuación se exponen las medidas de prevención para la minimización de estos riesgos para ambos tipos de acopios.

Aclarar que cuando se utiliza el término «instalación», se considera al almacenamiento de NFU en la que pueden o no existir edificios y equipos de tratamiento asociados abandonados.

### 5.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ACOPIOS EXTERIORES

#### 5.1.1. Medidas de prevención de propagación de plagas y enfermedades

Para prevenir la reproducción de **mosquitos**, se recomienda eliminar los líquidos de los NFU. Esta actuación se puede realizar de forma simultánea a los trabajos de reordenamiento de las pilas de NFU, que se verá en apartados posteriores.

Los NFU deben mantenerse en seco por lo que, siempre que sea posible, se recomienda almacenarlos bajo techo o cubrirlos con una lona.

Se desaconseja la práctica de rellenar los NFU con tierra puesto que ese material complicaría la gestión de los mismos.

Si fuera necesario, se recomienda la aplicación de un plaguicida o larvicida autorizado para el control de mosquitos.

En cuanto a las plagas de otros animales como **roedores y serpientes**, se debe estudiar caso por caso, y acudir a empresas especializadas que realicen un control integrado del problema, evaluando factores como la dinámica poblacional de los organismos-plaga y su relación con el medio ambiente asociado.

### 5.1.2. Medidas de prevención de generación de incendios

Prevenir el riesgo de incendio es importante porque:

- una vez iniciado, es difícil de extinguir y puede durar semanas, incluso meses;
- los costes de remediación y repercusiones después de un incendio son muy superiores a los costes de su prevención (como regla general, es de cinco a diez veces más caro remediar un emplazamiento incendiado).

La prevención del riesgo de incendio incluye desde la consideración de medidas para evitar que personas ajenas a la instalación puedan acceder a ella y provocarlo (medidas de prevención), hasta medidas para facilitar la extinción del mismo en caso de que se produzca (medidas y/o equipos de lucha contraincendios).

#### 5.1.2.1. Medidas de prevención de incendios

El acopio dispondrá de las medidas de prevención de los riesgos de incendio correspondientes según lo establecido en la normativa en vigor sobre protección de incendios, así como de las medidas de seguridad, autoprotección y plan de emergencia interior para la prevención de riesgos, alarma, evacuación y socorro.

A continuación se exponen una serie de requisitos que deben cumplir las instalaciones de almacenamiento. En algunos casos los requisitos son de obligado cumplimiento puesto que aparecen en el Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso y en otros, se trata de requisitos recomendados o de obligado cumplimiento en otros países.

#### Requisitos de seguridad. Sistemas de vigilancia y control de acceso

El perímetro del acopio deberá estar protegido con un vallado perimetral. Se recomienda que dicho vallado tenga una altura mínima de 1,8 m y disponga de sistemas de control de intrusión en la parte superior o sistemas de alarma.

En acopios calificados como **prioritarios y con elevado riesgo de incendio**, hasta que se inicien las actividades de gestión de los mismos, se recomienda que existan guar-



días de seguridad o personal local para reducir al mínimo la posibilidad de que personas no autorizadas tengan acceso.

### Requisitos de almacenamiento de neumáticos

Un correcta zonificación de los acopios en una instalación facilita las tareas de extinción de incendios. A continuación se exponen los principales requisitos de almacenamiento.

#### *Dimensiones de las pilas*

Según se indica en el Real Decreto 1619/2005, la zona de almacenamiento de los neumáticos enteros estará compartimentada en celdas, módulos o pilas independientes con una capacidad máxima de cada una de ellas de 1.000 m<sup>3</sup> que no deberán superar las siguientes alturas:

- NFU almacenados en pilas libres: 3 m
- NFU almacenados en silos: 6 m

En acopios pueden haber almacenados NFU enteros, triturados a granel o en bigbags y, aunque con menor frecuencia, NFU enteros en balas. El Real Decreto no determina dimensiones para este tipo de almacenamientos, pero se recomienda que las pilas no superen los 4,5 m de altura y 230 m<sup>2</sup> de superficie.

#### *Sistemas de almacenamiento*

En los acopios, los NFU se distribuyen, en la mayoría de los casos, en pilas aleatorias en las que los neumáticos han ido arrojándose con escaso esfuerzo de almacenamiento y sin respetar requerimientos dimensionales de seguridad. En menor medida se pueden encontrar también neumáticos enteros apilados o superpuestos en cordones (entrelazados).

Existen varios sistemas de almacenamiento de NFU ampliamente aceptados (paletizados en vertical y horizontal, atados horizontalmente y con largueros para su sujeción, etc.). Estos sistemas sólo se emplean para almacenar NFU que pueden ser reutilizados. Sin embargo, la mayoría de los NFU de los acopios objetivo de esta guía debido al deterioro físico que sufren, no sirven para un segundo uso, sino que están destinados a sufrir algún tipo de tratamiento.

A la hora de estabilizar un acopio, será necesario realizar una redistribución de los NFU en pilas que cumplan los requisitos de almacenamiento.

### *Pasillos entre las pilas*

Según se indica en el Real Decreto 1619/2005, el acopio deberá estar dividido 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.

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.

Además, todos los pasillos deben permanecer libres de obstrucciones que podrían limitar el acceso en caso de una emergencia y permitir el acceso bajo todas las condiciones climáticas.

### *Distancias de separación de las pilas a otros elementos de la instalación*

Puesto que la normativa española no determina los metros que deben respetarse entre las pilas a otros elementos de la instalación, se exponen a continuación distancias mínimas recomendadas:

- Separación entre pilas/celdas (cortafuegos interiores): 6 m
- Separación de las pilas al vallado perimetral: 8 m
- Separación de las pilas a edificios: 10 m

### *Cortafuegos exterior*

La ubicación de acopios en terrenos rústicos origina riesgo de incendio en una doble dirección: riesgo para el acopio, puesto que le puede afectar un incendio forestal, y riesgo de que un incendio en el acopio pueda originar un incendio forestal.

Por lo tanto, se recomienda que los acopios ubicados en terrenos agrícolas o forestales mantengan una franja perimetral libre de vegetación baja y arbustiva.

La anchura que debe poseer esta franja o cortafuegos, dependerá de los siguientes factores:

- Riesgo intrínseco del acopio: relacionado directamente con la cantidad de NFU almacenados.
- Tipo de masa forestal que rodea al acopio (vegetación herbácea, arbustiva o arbórea)
- Fuerza de los vientos predominantes
- Tipo y altura del vallado perimetral

A continuación se expone, a modo orientativo, la anchura mínima cortafuegos exterior recomendada en función del tipo de vegetación que rodea el acopio:

- 5 m, cuando el acopio se localice en zonas de vegetación herbácea

- 10 m, cuando el acopio se localice en zonas próximas a vegetación arbustiva o de matorral
- Dos veces y media la altura dominante de los árboles y, al menos, 15 m, cuando el acopio se localice en las proximidades de zonas arboladas.

En lugares de viento fuerte se debe aumentar la distancia establecida al menos en las direcciones de los vientos predominantes.

En la Fotografía 7 se muestra un ejemplo de cortafuegos exterior de un acopio de NFU. En la Figura 4, se expone un esquema de distancias mínimas recomendadas entre los diferentes elementos del acopio.



[Fuente: EMGRISA]

FOTOGRAFÍA 7. Cortafuegos exterior de un acopio de NFU

El cortafuegos debe mantenerse periódicamente de forma que no exista vegetación de más de 15 cm de altura.

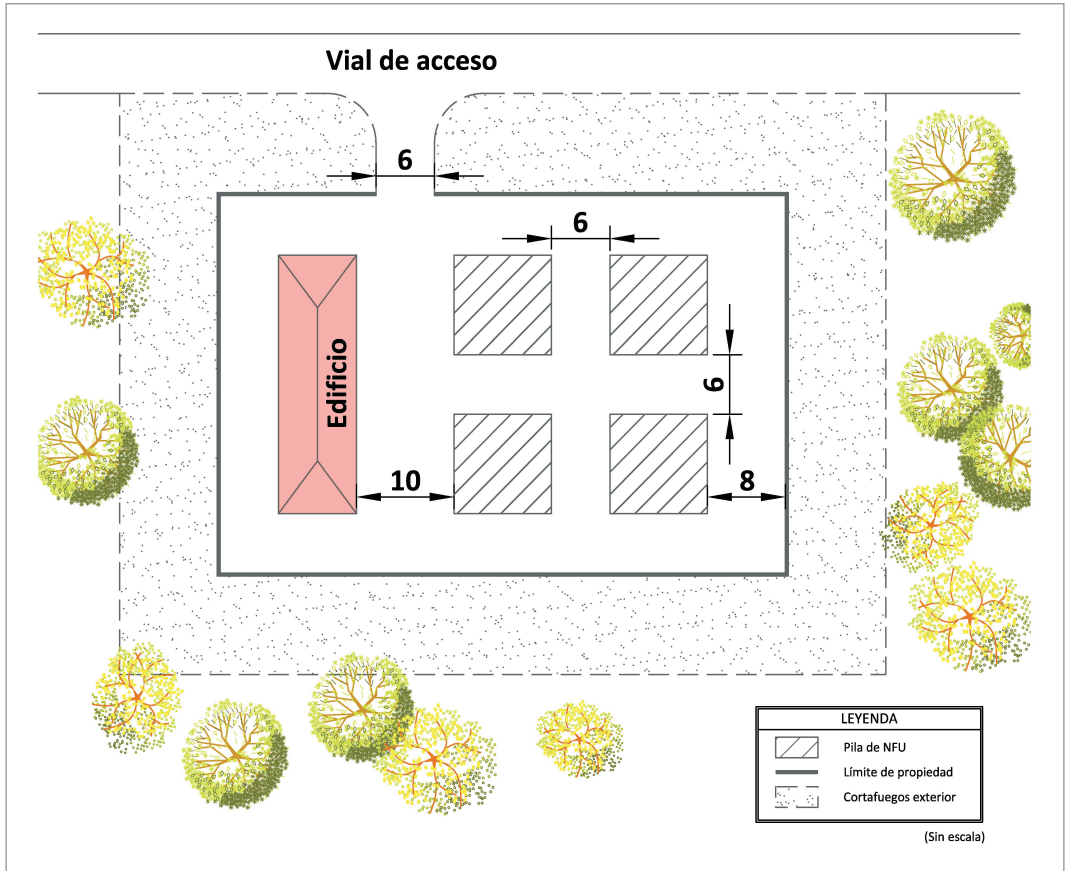


FIGURA 4. Distancias mínimas recomendadas entre los diferentes elementos del acopio

***Buenas prácticas de mantenimiento y control***

- Limpiar de malas hierbas, vegetación similar y otros materiales combustibles la zona de almacenamiento.
- Prohibir fumar dentro de la zona de almacenamiento de los neumáticos, así como otros tipos de fuentes potenciales de ignición, tales como corte y soldadura, aparatos de calefacción, etc.
- Prohibir la quema al aire libre a menos de 300 m de una pila de neumáticos.
- Mantener el acopio libre de otro tipo de residuos.
- Mantener siempre cerca del almacenamiento de NFU, el equipo, material de cobertura y otros materiales de construcción que ayuden a controlar el fuego hasta que el equipo de extinción más cercano acuda al emplazamiento.

- Si se almacenan neumáticos triturados con contenido metálico, realizar un control continuado ya que debido a la oxidación del material, puede generar el calor suficiente para iniciar incendios.
- Construir una berma de al menos 30 cm de alto alrededor de cada pila para contener los aceites pirolíticos y otros líquidos generados en incendios, tanto como consecuencia del mismo incendio como por los equipos de extinción.
- Colocar un pararrayos en la instalación.

### 5.1.2.2. Medidas y equipos de lucha contraincendios

#### *Accesos a la instalación*

Tal y como indica el Real Decreto 1619/2005, la instalación estará dotada de accesos adecuados para permitir la circulación de vehículos pesados.

En caso de que la superficie del acopio sea  $> 5.000 \text{ m}^2$ , éste debe disponer de dos entradas de acceso a los bomberos.

Las puertas de entrada deben tener un ancho libre mínimo de 6 m y deben permitir un rápido acceso al personal de emergencia.

Las vías de acceso deben estar diseñadas para:

- Soportar las características de los camiones de bomberos, incluyendo 4,5 m de altura libre y radios de giro de 14 m como mínimo.
- Permitir el acceso de camiones de bomberos en cualquier condición climática.

#### *Equipos y sistemas de lucha contraincendios*

Los equipos de extinción que se deben incluir, como mínimo, son: un extintor químico seco, un extintor de agua de 10 l, un gancho de 3 m de longitud y una pala de punta redonda y otra de punta cuadrada.

En cuanto a los sistemas de lucha contraincendios, debería proveerse al emplazamiento de una boca de incendios con suministro de agua o, al menos, de un depósito con un volumen suficiente en función de la cantidad de NFU almacenados. El sistema deberá estar aprobado por el Servicio de Bomberos competente.

Es importante realizar el mantenimiento del sistema para garantizar el suministro de agua contra incendios, así como realizar un mantenimiento adecuado de los equipos de extinción de incendios.

### 5.1.2.3. Elaboración de un Plan de emergencia

Se recomienda elaborar, como mínimo, un plan de emergencia ante incendios adaptado a las características de cada acopio, una vez finalizados los trabajos de estabilización.

Es importante que en el plan figure una lista actualizada de los números de teléfono de todos los servicios de urgencias (112, bomberos, policía municipal, nacional, guardia civil, ambulancias, etc.). Además es recomendable que en el plan se recoja un listado de empresas de maquinaria pesada local disponibles.

### 5.1.3. Medidas de prevención de contaminación de suelos y aguas

Como se ha visto en anteriores apartados, existe posibilidad de que se produzca lixiviación de metales y otros compuestos al suelo y a las aguas. Para prevenir la contaminación de estos medios, se recomienda lo siguiente:

- Instalación de un sistema de recogida de escorrentías de la zona de almacenamiento.
- Instalación de una cubierta impermeable en el suelo donde se van a acopiar los NFU.
- Segregación y gestión de otros residuos presentes en el acopio en función de su peligrosidad, prestando especial atención a los residuos peligrosos.

## 5.2. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ACOPIOS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS

### 5.2.1. Medidas de prevención de propagación de plagas y enfermedades

En este tipo de acopios no es tan probable la propagación de enfermedades por vectores debido a que no acumulan agua de lluvia. El único líquido que puede estar presente en el acopio sería el que llevaban los NFU en su interior en el momento de su almacenamiento, por lo que éste debe ser eliminado.

Pueden darse, sin embargo, plagas de roedores u otros organismos-plaga, por lo que será necesario adoptar medidas específicas de control que, como se ha expuesto en el apartado de acopios exteriores, deben ser seleccionadas y aplicadas por empresas especializadas.

## 5.2.2. Medidas de prevención de generación de incendios

### 5.2.2.1. Medidas de prevención de incendios

#### Requisitos de seguridad. Sistemas de vigilancia y control de acceso

En acopios calificados como **prioritarios y con elevado riesgo de incendio**, hasta que se inicien las actividades de gestión de los mismos, se recomienda que existan guardias de seguridad o personal local para reducir al mínimo la posibilidad de que personas no autorizadas tengan acceso.

En todo caso, debe restringirse el acceso al interior de los edificios donde se almacenen temporalmente los neumáticos.

#### Requisitos de almacenamiento de neumáticos

La forma de almacenaje y la cantidad máxima a almacenar está condicionada por la normativa para el diseño de las instalaciones de protección contra incendios.

En España, las instalaciones de establecimientos industriales deben cumplir, al menos, los requisitos establecidos en el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los establecimientos industriales, así como el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo (Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, hasta el 12 de diciembre de 2017).

El Real Decreto 2267/2004 obliga a realizar unas instalaciones de protección contra incendios determinadas, pero no dice con qué norma específica diseñar las mismas. Se debe elegir el diseño conforme a las normativas UNE, NFPA, fichas técnicas de FM Global, etc., según las necesidades. En cuanto a los sistemas de almacenamiento, destacar de entre todas ellas las siguientes:

- La norma UNE 12845 «Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento», permite únicamente almacenar neumáticos en posición horizontal en estanterías paletizadas.
- La norma NFPA-13 «Norma para la instalación de sistemas de rociadores», es más favorable en cuanto a que proporciona más ventajas en la forma de almacenamiento de neumáticos y a la cantidad que se puede almacenar.

En los acopios localizados en el interior de edificios se deberán analizar las posibles modificaciones a introducir en la instalación, en función de las características del edificio y la cantidad de neumáticos almacenados, como consecuencia de la aplicación de la normativa vigente.

### 5.2.2.2. Medidas y equipos de lucha contraincendios

Es necesario conocer el nivel de riesgo intrínseco que tiene el establecimiento industrial y sus sectores. Para conocer el nivel de riesgo intrínseco de una instalación de almacenamiento de NFU, además de conocer la superficie y tipo de instalación, se debe saber el modo y superficie de almacenamiento, así como la altura máxima de almacenamiento. Conocer el nivel de riesgo permite conocer la distancia máxima de evacuación, entre otras.

De todas las instalaciones de protección contra incendios, la más restrictiva y la que más influye a la hora de valorar las posibilidades de almacenaje, es la instalación de un sistema de rociadores automáticos.

Las normativas para el diseño de las instalaciones de protección contra incendios, en especial la red de rociadores, son:

- la norma española UNE 12845
- las normas americanas NFPA-13 y FMDS-2.

Como se ha comentado anteriormente, la UNE 12845 permite únicamente almacenar neumáticos en posición horizontal. El almacenamiento es en estanterías paletizadas y esto obliga a utilizar rociadores en estanterías.

La norma NFPA-13 expone las posibilidades de rociadores de supresión temprana para la protección de neumáticos en función del sistema de almacenamiento.

### 5.2.3. Medidas de prevención de contaminación de suelos y aguas

Para prevenir la contaminación de suelos y aguas, como en cualquier otra instalación industrial, se requiere disponer de un pavimento impermeable, así como una adecuada red de drenaje.

Por otro lado, en caso de incendio, debe garantizarse la retención de agua contaminada (agua mezclada con productos del incendio y otros agentes de extinción). La capacidad mínima de contención debe calcularse teniendo en cuenta el caudal de todos los sistemas de extinción existentes (hidrantes, rociadores,...) funcionando simultáneamente.

En definitiva, la gestión de NFU se trata de una actividad industrial que debe desarrollarse en un suelo apto jurídica y técnicamente para tal uso. Debe ser compatible con el desarrollo urbanístico y cumplir todos los requerimientos legales y técnicos propios de dicha actividad. En consecuencia, no pueden tramitarse autorizaciones de este tipo de instalaciones en sitio rústico y sin los medios adecuados para el tipo de tratamiento que se solicite realizar.



## GESTIÓN DE NFU PROCEDENTES DE ACOPIOS

### 6.1. RETIRADA Y TRATAMIENTO DE NFU

La gestión de un acopio de NFU comprende la retirada y gestión del residuo, así como la restauración del emplazamiento a su estado original. En este apartado se va a tratar específicamente la retirada y gestión de los NFU acopiados.

A continuación se proporcionan unas líneas de actuación general pero, en función de las características del acopio, del tipo y número de NFU almacenados, de la ubicación geográfica y las distancias a las plantas de tratamiento y destinos finales, será más conveniente adoptar una solución u otra. Por ello, se considera necesario realizar un análisis caso por caso, antes de acometer la gestión del acopio, evaluando las diferentes alternativas de gestión disponibles.

#### 6.1.1. Manipulación y tratamiento *in-situ*

Las actuaciones *in-situ* son aquellas que se realizan en el propio almacenamiento de NFU y suelen consistir básicamente en el acondicionamiento de la instalación, si no se ha hecho con anterioridad, y en la manipulación y retirada de los NFU. En ocasiones, puede ser necesario realizar una clasificación previa de los NFU antes de su transporte, especialmente si existen varios destinos. Se debe tener en cuenta, durante la planificación de los trabajos, que los NFU se pueden localizar sobre la superficie (a la intemperie o bajo cubierta) o enterrados.

Durante el desarrollo de los trabajos *in-situ* (actuaciones previas, tratamientos *in-situ*, carga y traslado, etc.), deberían adoptarse las medidas necesarias para minimizar, en la medida de lo posible, la generación de ruidos y la emisión de polvo. Asimismo, deberían mantenerse las medidas de prevención de generación de incendios indicadas en los apartados anteriores.

La maquinaria utilizada, así como los demás elementos de trabajo, deben encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento y disponer de cuantos elementos de seguridad y prevención de riesgos laborales establezca la normativa vigente.

### Actuaciones previas

Si no se han adoptado estas medidas con anterioridad, en primer lugar deberán acondicionarse los accesos al acopio y los caminos interiores del mismo, para permitir el acceso y la circulación de la maquinaria y los camiones para la manipulación de los NFU.

Asimismo, deberá controlarse el acceso a la instalación durante el tiempo que duren las labores de gestión y, por tanto, puede ser necesario instalar o reponer el vallado perimetral en el caso de que esté deteriorado.

El agua puede ser una fuente de problemas durante la gestión de un acopio de NFU. Aparte de las precipitaciones, que pueden generar dificultades en los accesos y vías de circulación interiores, el agua que se acumule en el interior de los NFU se movilizará durante el manejo y la carga.

Estos inconvenientes se pueden solucionar acondicionado unos canales de drenaje, para que no se acumule el agua en ciertas áreas de la instalación. El establecimiento de redes de drenaje también permite controlar la escorrentía hacia zonas sensibles como propiedades adyacentes, cursos fluviales, espacios protegidos, etc. Otra alternativa puede ser establecer turnos rotativos para las diferentes áreas de trabajo, de manera que mientras se trabaja en una zona se vaya secando la zona en la que se ha trabajado con anterioridad. La decisión de acondicionar una red de drenaje dependerá del estado y el tamaño del apilamiento, de su localización geográfica, de la climatología y del entorno.

### Carga y movimiento de los NFU en el acopio

En primer lugar, se debe seleccionar la maquinaria más adecuada de acuerdo a las condiciones específicas del acopio y del terreno. En principio, si los accesos a las pilas de NFU son transitables para los camiones, se puede utilizar una retroexcavadora con pulpo o pinza para realizar la carga directamente al camión. Si existen restricciones al movimiento de la pluma o el brazo, entre la pila y el camión, por la presencia de árboles, líneas eléctricas, porque el acopio se localice en el interior de un edificio, u otros, el uso de una pala cargadora puede aportar mayor seguridad, si bien en acopios exteriores este tipo de maquinaria puede arrastrar más suciedad (piedras, tierras, etc.) en la carga de los NFU.

Si es necesario mover los NFU dentro del emplazamiento, porque los camiones no pueden acceder hasta el acopio o porque los NFU se van a tratar *in-situ*, suele ser más eficiente utilizar una pala cargadora, aunque con la retroexcavadora se minimiza el riesgo de colapso de la pila si ésta es muy alta.

Durante la carga se deben separar, en la medida de lo posible, los materiales y objetos que no sean NFU y se debe procurar minimizar la recogida de tierra y piedras. El uso del pulpo permite eliminar parte de la tierra si durante la carga se agitan los NFU.

En determinadas ocasiones, puede ser más eficiente y menos costoso utilizar maquinaria de menores dimensiones como retroexcavadoras compactas o manipuladores telescópicos. Asimismo, en el caso de acopios de pequeño tamaño se pueden emplear para la carga camiones con grúa pulpo.

En la Fotografía 8 se exponen ejemplos de maquinaria para la carga de NFU en los acopios.



Carga de NFU con retroexcavadora con pinza



Carga de NFU con manipulador telescópico



Carga de NFU con camión con grúa pulpo



Camión cargado con pulpo plegado

[Fuente: EMGRISA (1-2-3) y SIGNUS (4)]

FOTOGRAFÍA 8. *Maquinaria para carga de NFU en el acopio*

Se recomienda retirar secuencialmente pilas alternas, no contiguas, de manera que se vaya incrementando la separación entre las pilas remanentes, por si acaso se produjera un incendio durante el periodo que dure la gestión de los NFU.

### Tratamientos in-situ

Normalmente, los acopios no albergan un único tipo de NFU y puede ser necesario realizar una clasificación previa de los mismos, según su estado de conservación, composición o tamaño.

Esta clasificación es especialmente necesaria cuando existen diferentes destinos para gestionar los NFU procedentes de un mismo acopio. Por ejemplo, algunas cementeras no admiten neumáticos de origen industrial y, por tanto, podría ser necesario separar los NFU no industriales, que irían a cementera, de los NFU de origen industrial, que irían a una planta de tratamiento.

Asimismo, en muchas ocasiones será necesario realizar una limpieza de los NFU antes de su tratamiento o transporte. En el caso de que los NFU se encuentren impregnados con pinturas, aceites u otros residuos peligrosos, los residuos de esa limpieza, como por ejemplo las aguas de lavado, deberán recogerse y tratarse adecuadamente ya que podrían contener sustancias peligrosas.

En ocasiones, podría ser conveniente transportar los NFU en balas, ya que ocupan menos espacio. Las balas de NFU se fabrican con prensas hidráulicas que pueden ser móviles. Una bala de tamaño estándar (aproximadamente 80x155x130 cm) normalmente contiene de 100 a 115 NFU. La bala se debe asegurar con alambres de acero de alta resistencia, de manera que no pierda su forma.

Las balas de NFU se pueden utilizar en ingeniería civil y podrían transportarse directamente a destino final, siempre que cumplan con todas las prescripciones establecidas en los Pliegos de Condiciones Técnicas del proyecto de las obras de destino, sin pasar por una planta de tratamiento fija.

Los NFU dañados (con roturas >25 mm en la pared lateral o >10 mm en el resto del NFU), con el material de refuerzo expuesto, reventados, parcialmente quemados o contaminados con hidrocarburos u otras sustancias peligrosas, no deberían utilizarse en balas destinadas a ingeniería civil.

Por otra parte, si la planta de tratamiento de NFU se localiza a gran distancia, o bien el volumen de NFU acopiado es muy elevado, se podría plantear realizar un troceado previo o una trituration primaria in-situ, para mejorar la relación entre el peso y el volumen del residuo y reducir el coste de transporte.

La trituración *in-situ* se realizará normalmente con una trituradora rotativa de cuchillas. Es importante limpiar los NFU antes de introducirlos en la trituradora, ya que la tierra produce un gran desgaste en las cuchillas. Además, la maquinaria a utilizar debe ser adecuada para el tamaño y las características de los NFU almacenados en el acopio, ya que no todos presentan la misma dureza y las máquinas admiten un rango de tamaño determinado. De manera general, puede indicarse que resulta más difícil triturar un NFU de camión que uno de turismo, dada su mayor resistencia.

En ocasiones es necesario realizar algunos tratamientos antes de la trituración. En el caso de neumáticos de grandes dimensiones o industriales, puede ser necesario utilizar una cizalla para cortar los aros de acero interiores y facilitar la trituración. Asimismo, puede ser conveniente utilizar una destalonadora para extraer el cordón de acero.

Normalmente, las plantas de tratamiento prefieren recepcionar los NFU enteros. De este modo pueden controlar el proceso completo ya que, dependiendo del tipo de NFU de entrada, se obtendrá un producto de diferentes características técnicas. Además, pueden controlar más fácilmente que el material de entrada a la planta está libre de tierra y piedras.

No obstante, cabe señalar que un camión de 24 toneladas de capacidad puede transportar como máximo, siempre que la carga se ejecute por personal con experiencia, alrededor de 10 t de NFU entero de turismo o 12 t si se trata de NFU de camión, mientras que si los NFU se trocean previamente, se podrían transportar hasta 24 t.

Los NFU también se podrían llevar directamente a destino final, sin pasar por una instalación de tratamiento, y la instalación receptora podría establecer unos requisitos de entrada. Sería el caso de una cementera que únicamente admitiese fragmentos de NFU de un determinado tamaño para valorización energética. En este caso, también podría resultar más rentable realizar una trituración *in-situ*, dependiendo de las distancias, los tipos de NFU acopiados, los requisitos de entrada a la cementera y la aportación económica de la misma. Por todo ello, dependiendo del destino de los residuos y sus especificaciones de entrada, se diseñará el tratamiento *in-situ* más adecuado.

### Transporte

El traslado de NFU (enteros, troceados o triturados) debe cumplir con la normativa vigente, especialmente con el Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado, atendiendo especial-

mente al cumplimiento de los requisitos legales de documentación y notificación establecidos.

Es de esperar que los NFU almacenados en acopios se encuentren sin llanta y sin plomos para equilibrar las ruedas, ya que se trata de residuos que pueden suponer una fuente de ingresos. En cualquier caso, como las llantas son bastante pesadas, si no han sido retiradas previamente, conviene separarlas antes del traslado, para reducir los costes asociados al transporte.

En el caso de que se transporten NFU enteros, dada su baja densidad, se recomienda utilizar un camión de piso móvil o bañeras de alta capacidad para minimizar los costes asociados al traslado. Cuando se traslade triturado de NFU se puede utilizar un camión bañera estándar. Como se ha indicado con anterioridad, en el caso de acopios de pequeño tamaño se pueden utilizar camiones con grúa pulpo.

El peso de la carga puede cambiar durante el transporte de los NFU enteros debido a que el agua contenida en los NFU puede verterse durante el movimiento o bien, si llueve durante el traslado y la carga no se transporta cubierta con lona, se puede acumular agua en las carcasas. Se recomienda, si es posible, que se pesen los camiones al inicio del traslado, en el propio almacenamiento de NFU o cerca, así como en el lugar de recepción. El menor de los pesos es el que debería asumirse como real.

### **6.1.2. Tratamiento externo de NFU**

Cuando los NFU no se lleven directamente a destino final, se trasladarán a instalaciones de tratamiento. Entre los tratamientos más comunes se encuentran las técnicas de preparación para la reutilización (recanalado y recauchutado), los tratamientos mecánicos, los tratamientos de reducción de tamaño (granulación y molienda), la desvulcanización y los procesos de gasificación.

Las técnicas de preparación para la reutilización comprenden el recanalado y el recauchutado. El recanalado consiste en remarcar el dibujo primitivo y suele realizarse en aquellos neumáticos que no han perdido más del 75% de su profundidad original.

Los NFU procedentes de un acopio histórico no deberían destinarse nunca a venta de ocasión o de segunda mano ni a recanalado, ya que han estado almacenados a la intemperie durante largos periodos de tiempo.

El recauchutado consiste en sustituir la banda de rodadura gastada del NFU por una nueva, convirtiéndolo de nuevo en un neumático apto para su uso. El primer paso del

proceso es la inspección de las carcasas, para descartar aquellas que no cumplen con las condiciones de seguridad y rendimiento adecuadas. Posteriormente, se lleva a cabo el raspado de la superficie de la carcasa sobre la que se coloca una nueva banda de rodadura. Este proceso puede realizarse en caliente o en frío, mediante una placa de unión sin vulcanizar. El recauchutado debe realizarse por empresas certificadas, conforme a las condiciones establecidas en las reglamentaciones técnicas. Al respecto, es de aplicación la Decisión 2006/443/CE, de 13 de marzo de 2006, por la que se modifican las Decisiones 2001/507/CE y 2001/509/CE con el objeto de conferir carácter obligatorio al Reglamento n° 109 sobre la homologación de la producción de neumáticos recauchutados para los vehículos industriales y sus remolques, así como el Reglamento n° 108 para los vehículos automóviles y sus remolques.

Los tratamientos mecánicos son los procesos mediante los cuales los NFU son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran la fabricación de balas y la trituración.

El tratamiento mecánico más utilizado es la trituración. Existen dos tipos: la trituración primaria y la secundaria. En la trituración primaria se originan fragmentos de NFU bastante irregulares, normalmente de un tamaño superior a los 50 mm. La trituración secundaria permite reducir el tamaño de los fragmentos obtenidos y separar gran parte del acero y del textil. El tamaño a obtener en la trituración depende del uso específico que se quiera dar al material obtenido.

Aunque no exista ninguna clasificación oficial y las características técnicas y de tamaño dependerán de las prescripciones que imponga el valorizador final, los materiales que se obtienen a partir de la trituración de los NFU en cuanto a la distribución del tamaño son los siguientes:

- Trituración Primaria (50 a 300 mm)
  - Cortes (típicamente de 300 mm o más)
  - Large (75 a 300 mm)
  - Small (40 a 75 mm)
- Trituración Secundaria (10 a 50 mm)
  - Chip (10 a 50 mm)

Las tecnologías de reducción de tamaño permiten obtener granulado de caucho de NFU (0,8-20 mm), mediante granulación, o polvo de caucho de NFU (<0,8 mm), mediante el proceso de molienda.

Los tratamientos de reducción de tamaño pueden realizarse a temperatura ambiente o a bajas temperaturas. El caucho pierde su elasticidad a temperaturas muy bajas (-80°C) y en estas condiciones puede desintegrarse fácilmente. La reducción criogénica se basa en esta propiedad del caucho.

La granulación se puede llevar a cabo a partir de triturado de NFU, chips o las raspaduras procedentes del recauchutado, mientras que la molienda se suele realizar a partir de chips o de las raspaduras procedentes del recauchutado.

La separación de las fibras textiles y del acero se produce en mayor o menor medida en todos los procesos de trituración secundaria, granulación y molienda.

El material férrico normalmente se segrega con separadores magnéticos dispuestos sobre las cintas.

Las fibras textiles pesan menos y se suelen separar por vibración (en cintas, mesas o bandejas vibratorias) o bien mediante la aplicación de corrientes de aire, ciclones o aspiración. Las fibras textiles se pueden valorizar materialmente en la fabricación de productos aislantes o se pueden valorizar energéticamente.

La regeneración es un procedimiento de conversión del caucho de los neumáticos en un estado en el que se puede mezclar, procesar y vulcanizar nuevamente. El principio del proceso es la desvulcanización, que consiste en la rotura selectiva del enlace químico entrecruzado del azufre en el caucho vulcanizado. Los procesos de desvulcanización pueden ser químicos, térmicos, mecánicos, químico-mecánicos, termo-mecánicos, termo-químicos, ultrasónicos e incluso biológicos.

El proceso de regeneración produce un material blando, plástico, de bajo módulo, procesable y vulcanizable que simula muchas de las propiedades del caucho virgen. No obstante, el caucho regenerado no presenta las mismas prestaciones mecánicas que el original, por lo que resulta difícil su aplicación en la fabricación de neumáticos y otros productos. Estas tecnologías se encuentran actualmente bajo investigación y todavía no se encuentran implantadas.

La pirólisis y la gasificación son tratamientos térmicos, que consisten en el calentamiento del triturado de NFU en ausencia de oxígeno o a baja concentración del mismo. La pirólisis es un proceso específico dentro de la gasificación. La diferencia entre la incineración y estos procesos radica en la presencia de oxígeno, ya que en la incineración se produce una combustión completa en presencia de oxígeno. A pesar de esta diferencia, la legislación Europea cataloga este tipo de procesos como de incineración.

Mediante la gasificación/pirólisis se consigue la descomposición de los componentes de los NFU. Los elementos orgánicos volatilizables, principalmente las cadenas de caucho, se convierten en gases y líquidos y los elementos inorgánicos, principalmente acero y negro de humo no volátil, permanecen como un residuo sólido. Los materiales obtenidos son el residuo carbonoso, el aceite y el gas de pirólisis que tiene un elevado poder calorífico.

El negro de humo obtenido en el proceso sería el material con mayor potencial de valorización, aunque no sustituye al negro de carbono procedente de la combustión incompleta de gas natural u otros productos del petróleo, y presenta un mercado y una demanda limitados. El aceite condensable constituye el residuo más problemático ya que puede contener cierta contaminación.



La pirólisis se encuentra actualmente bajo investigación, dadas las grandes posibilidades que presenta. No obstante, a pesar de la investigación realizada, hay pocas instalaciones comerciales operativas, debido a su elevado coste, ya que requiere una gran cantidad de energía, y a que todavía no se han alcanzado los objetivos de productividad y de calidad previstos.

En la Figura 5 se expone un resumen de las principales opciones a considerar en la gestión de NFU procedentes de un acopio.

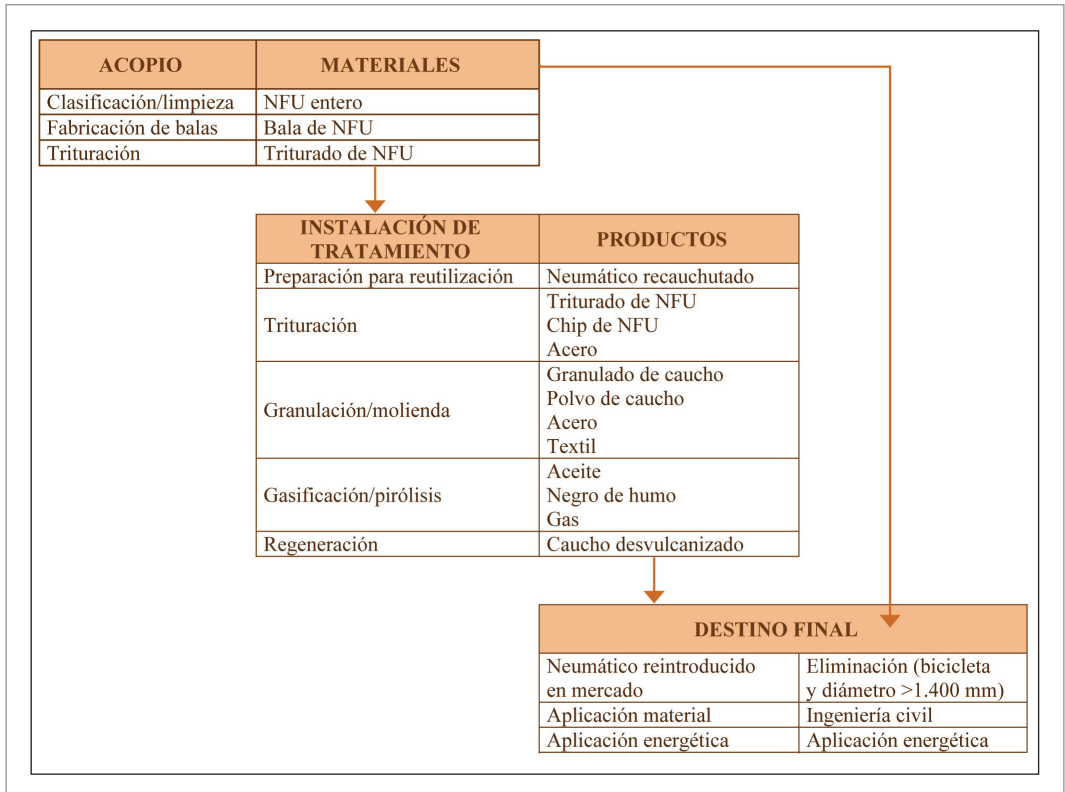


FIGURA 5. Principales opciones a considerar en la gestión de NFU procedentes de un acopio

## 6.2. PREPARACIÓN PARA LA REUTILIZACIÓN DE NFU

Como se ha descrito en el apartado anterior, las técnicas de preparación para la reutilización comprenden el recanalado y el recauchutado, pero para los NFU procedentes de acopios históricos se desaconsejan las operaciones de recanalado, debido a su almacenamiento a la intemperie durante largos periodos de tiempo.

Por otro lado, el número de recauchutados que un neumático admite es limitado, ya que la carcasa sufre fatiga y deterioro con el uso. Los NFU procedentes de turismo sólo se pueden recauchutar una vez (según el Reglamento nº 108) y los NFU procedentes de camión suelen cumplir con las prescripciones impuestas en el Reglamento nº 109 hasta tres veces.

Las raspaduras que se obtienen durante el proceso de recauchutado, procedentes del raspado de las bandas de rodadura, suelen tener un tamaño comprendido entre 0 y 40 mm y pueden destinarse a valorización material o energética.

### 6.3. VALORIZACIÓN MATERIAL DE NFU

La valorización material de los NFU puede llevarse a cabo a partir de NFU enteros, triturado de NFU, granulado de caucho de NFU o polvo de caucho de NFU. Los neumáticos enteros, sueltos o en balas, suelen destinarse a aplicaciones de ingeniería civil.

A continuación, se recogen las principales aplicaciones identificadas para los materiales que pueden obtenerse a partir de la gestión de un acopio de NFU. No se trata de un listado exhaustivo ya que no se indican todas las aplicaciones posibles, sino las más comunes.

#### Valorización material de NFU enteros:

- Arrecifes artificiales y rompeolas. Existen arrecifes artificiales construidos con NFU enteros. Los NFU dispuestos en la base se suelen anclar o rellenar de hormigón para asegurar la estabilidad de la estructura.
  - Por otra parte, los NFU enteros, con la ayuda de elementos que provoquen su flotabilidad y anclándolos para inmovilizarlos, pueden convertirse en un excelente rompeolas flotante en aquellos puertos donde el oleaje no sea excesivamente fuerte.
  - Control de la erosión y estabilización de riberas. Se han utilizado balas de NFU en la estabilización de márgenes fluviales degradados por la erosión del agua.
  - Muros de contención y taludes. Las balas prismáticas son una buena alternativa a los gaviones metálicos en la construcción de estructuras de contención y diques. Por su forma geométrica e instalación modular se adaptan muy bien a ser recubiertas con hormigón o fábrica para la formación de muros. En zonas con problemas de inestabilidad, la resistencia del caucho y su baja densidad permiten el empleo de estos materiales para la formación de taludes o bermas.
- Además, el caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de barreras acústicas. Los NFU enteros o en balas han sido utilizados como material de relleno en muros verdes o similares.
- Pistas provisionales. Los NFU enteros se pueden utilizar para construir pistas provisionales para la circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, etc.

- Equipamiento para áreas de juego infantil. Los NFU enteros se pueden utilizar como equipamiento de áreas de juego infantil en columpios, balancines, u otros.
- Barreras de protección en circuitos automovilísticos. Por su capacidad de absorción de energía y por su resistencia a la intemperie, los NFU pueden destinarse a la construcción de muros de protección en circuitos automovilísticos. En este caso, se debe cumplir con la normativa establecida por la Federación Internacional de Automovilismo.
- Defensa de muelles y embarcaciones. Los NFU enteros también pueden destinarse a la protección de muelles y barcos, actuando como barreras de contención y amortiguadores, especialmente durante las tormentas.

En la Fotografía 9 se exponen ejemplos de aplicaciones materiales de NFU enteros.



Rompeolas flotante



Talud



Barrera de protección en circuito automovilístico



Defensa de embarcaciones

[Fuente: SIGNUS (1-2-3)]

FOTOGRAFÍA 9. Aplicaciones materiales de NFU enteros

Valorización material de triturado, granulado y polvo de caucho procedente de NFU:

- Barreras acústicas. Como se ha indicado con anterioridad, el caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas acústicas, en carreteras e instalaciones ferroviarias, así como para su uso en edificaciones. Se puede usar caucho triturado de NFU, en pantallas acústicas, o caucho granulado aglomerado con resinas de poliuretano, en paneles prefabricados.
- Aislamiento térmico. El caucho presenta propiedades que lo convierten en un buen aislante térmico en infraestructuras y edificios. Se puede utilizar caucho triturado o granulado en el interior de muros, en tejados o bajo el pavimento.

Las fibras textiles obtenidas del tratamiento de los NFU también pueden emplearse en la fabricación de productos aislantes para edificios.

- Rellenos ligeros. El triturado de NFU resulta un material especialmente adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de contención, etc.), ya que, debido a su alta deformabilidad, es capaz de absorber el esfuerzo de compactación del relleno sin generar grandes empujes sobre el muro.

Además, resulta adecuado como relleno de terraplenes sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales. El triturado de NFU se puede mezclar con suelo o con material granular cuando se necesite una menor compresibilidad y se pueda aumentar el peso. El uso de este material en terraplenes de carreteras proporciona también una protección eficaz frente a la penetración de la helada en el suelo subyacente, ya que proporciona cierto aislamiento térmico.

Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura.

- Relleno de balsas. El caucho triturado procedente de NFU se puede utilizar como relleno en balsas de infiltración de aguas pluviales.
- Sistemas de drenaje. El triturado de NFU se podría utilizar como material de relleno granular de capas y zanjas drenantes en carreteras u otras instalaciones. Las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías, y las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas.
- Pistas ecuestres. Dadas las características de elasticidad y amortiguación del caucho, se pueden utilizar chips o granulado de caucho de NFU como base en pistas ecuestres. En España todavía no está muy extendida esta aplicación, no obstante en otros países se utiliza normalmente.

- Pistas deportivas. Los pavimentos deportivos (como pistas de atletismo o pistas multiuso) se pueden fabricar con gránulos de caucho aglomerados, normalmente, con una resina de poliuretano. Estos pavimentos se pueden fabricar en distintos espesores a pie de obra o se pueden suministrar prefabricados en forma de rollos. El caucho proporciona una elasticidad al pavimento que lo hace muy adecuado para un uso deportivo.

La capa final de acabado debe garantizar la correcta estabilidad del deportista, así como el bote de la pelota, por lo que la textura y calidad de esta capa variará en función de distintos factores como son la ubicación de la pista (en interior o exterior) y el tipo de deporte que se practique sobre la misma.

- Relleno de césped artificial. Existen en el mercado céspedes artificiales para campos deportivos (fútbol, rugby, hockey, etc.) fabricados con gránulos de caucho y fibras sobre una base asfáltica. El granulado se puede utilizar como relleno de la fibra sintética, junto a áridos, o como capa de absorción de impactos en la base asfáltica.

Se han llevado a cabo numerosos estudios para evaluar el riesgo por lixiviación del caucho empleado como relleno en el césped artificial. No parecen haberse detectado riesgos apreciables. No obstante, existe preocupación por parte de la población en algunos países, respecto a la posible ingestión accidental de los gránulos de caucho en los campos deportivos. A día de hoy, no existe ninguna evidencia o estudio en el que se concluya que la utilización de gránulos de caucho como relleno de campos deportivos sea peligrosa para la salud de los usuarios, aunque en la actualidad se están desarrollando varios estudios al respecto, como el que recientemente ha publicado el Departamento de Salud del Estado de Washington <sup>[36]</sup>.

- Pavimentos de seguridad. Los pavimentos de seguridad se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para reducir las lesiones por caída al resultar un material elástico. Al igual que las pistas deportivas se fabrican con gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano.

Una variante de esta aplicación puede ser el uso de protectores de caucho en guardarraíles o biondas, lo que podría aumentar la seguridad vial en caso de accidente.

En la Fotografía 10 se exponen algunos ejemplos de aplicaciones de granulado de caucho procedente de NFU.



Granulado de caucho de NFU



Pavimento de seguridad en parque infantil



Césped artificial



Base de pista ecuestre

[Fuente: Fotografía tomada por EMGRISA en la planta de Valoriza (1) y SIGNUS (2-3-4)]

FOTOGRAFÍA 10. Granulado de caucho procedente de NFU y algunas de sus aplicaciones materiales

- **Productos moldeados.** Se pueden moldear muchos productos a partir de granulado de caucho. Estos materiales se pueden emplear en diferentes sectores industriales, comerciales y de consumo, como en la fabricación de productos para la industria automovilística, artículos para el hogar, etc. No obstante, los productos obtenidos a partir de granulado de caucho de NFU son de calidad inferior que los realizados a partir de caucho nuevo, por ello, la demanda de granulado de caucho de NFU para la fabricación de productos moldeados no es muy elevada. En el caso de pavimentos sometidos a gran desgaste (losetas y baldosas) puede resultar interesante el empleo de este material.
- **Hormigón.** Se está estudiando la aplicación de granulado de caucho procedente de NFU en hormigón. La incorporación de caucho en el hormigón disminuye la

resistencia, pero mejora la ductilidad. Por ello, puede resultar interesante su utilización en construcciones que puedan estar sometidas a impactos o vibraciones o su aplicación antisísmica. Además, con la adición del granulado de NFU, se mejorarían las propiedades acústicas y térmicas del hormigón.

Otra característica de este hormigón modificado sería su menor densidad, lo que le hace apropiado para aplicaciones en las que se requiera un peso inferior como, por ejemplo, en elementos interiores de edificación.

- Aplicaciones ferroviarias y similares. Existen diversas aplicaciones en la industria ferroviaria para el granulado y el polvo de caucho procedente de NFU, especialmente para reducir las vibraciones de las vías y del resto de infraestructuras asociadas. Entre estas aplicaciones pueden destacarse la fabricación de almohadillas para traviesas y la fabricación de traviesas compuestas.

El granulado de caucho de NFU se puede utilizar también como relleno de las vías, en los pasos a nivel de trenes y ferrocarriles, y el triturado de NFU se puede disponer por debajo del balasto, actuando como una capa de atenuación de las vibraciones ocasionadas por el paso de los ferrocarriles.

- Industria del calzado. En la fabricación de suelas de calzado de caucho se pueden utilizar NFU enteros troquelados, granulado o polvo de caucho procedente de NFU.
- Mezclas asfálticas. Entre las posibles aplicaciones para el polvo de caucho, se puede destacar su utilización como elemento constituyente de mezclas bituminosas para pavimentos. Se trata de un mercado potencial lo suficientemente grande como para absorber un gran volumen de NFU.

El polvo de caucho procedente de NFU se puede incorporar a las mezclas bituminosas directamente, como si se tratase de un árido mineral en el proceso conocido como vía seca, o bien en el ligante o betún, mediante el proceso conocido como vía húmeda. En la vía húmeda habría tres tipos de ligantes: betún mejorado con caucho (BC), betún modificado con caucho (PBMC) y betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC). El polvo de caucho de NFU modifica las propiedades reológicas de la mezcla asfáltica mejorando sus prestaciones como material, ya que actúa como un espesante y aumenta la viscosidad del ligante. La utilización de caucho de NFU en las mezclas bituminosas mejora su comportamiento frente a la formación de fisuras y la deformación plástica y proporciona una mayor resistencia a la fatiga, lo que proporciona un mejor comportamiento sonoro a lo largo del tiempo en la capa de rodadura.

El Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero prohíbe el depósito en vertedero de neumáticos enteros, con exclusión de los neumáticos utilizados como elementos de protección en el vertedero, y los neumáticos usados troceados, a excepción los neumáticos de bicicleta y los neumáticos cuyo diámetro exterior sea superior a 1.400 milímetros.

Un uso común en vertederos, como elemento de protección, es la utilización de NFU enteros para sujetar las láminas impermeabilizantes. Además, el triturado de NFU se puede utilizar como capa de drenaje, ya que este material cumple con la permeabilidad exigida en la normativa. Por otra parte, la elevada porosidad del material, permite su utilización como alternativa al relleno que dirige el biogás generado hacia la tubería de extracción. En este caso, se trata de un relleno idóneo, ya que es capaz de absorber los empujes ocasionados por el residuo depositado en el vertedero.

La utilización de NFU en vertederos podría suponer un riesgo inaceptable, en el caso de que se produjese un incendio. Es por ello que, debe asegurarse una utilización responsable de los NFU en los vertederos y, en ningún caso, debe tolerarse la creación de vertederos de NFU ocultos bajo la denominación de «elementos de protección».

En la Figura 6 se presenta un diagrama resumen en el que se recogen las principales aplicaciones materiales a considerar en la gestión de un acopio de NFU.

NFU ENTERO	TRITURADO DE NFU	GRANULADO DE CAUCHO DE NFU	POLVO DE CAUCHO DE NFU	CAUCHO REGENERADO
Arrecifes				
Rompeolas				
Control erosión				
Muros contención				
Pistas provisionales				
Barrera circuito				
Muelles/embarcaciones				
		Industria calzado		Industria calzado
	Rellenos ligeros			
	Aislamiento acústico			
Equipamiento juego				
	Sistemas de drenaje			
	Relleno de balsas			
	Aplicaciones en vertederos			
	Aislamiento térmico			
	Pistas ecuestres			
		Pistas deportivas		
		Césped artificial		
		Pavimento seguridad		
		Productos moldeados		Productos moldeados
		Hormigón		
	Aplicaciones ferroviarias			
			Adhesivos y sellantes	
			Componentes industria automovilística	
			Mezclas asfálticas	

**Leyenda:**

- Grado de implantación
- Implantado
- En desarrollo
- Experimental

FIGURA 6. Opciones de valorización material para la gestión de NFU procedentes de un acopio



Por último, destacar las aplicaciones de los materiales que se obtienen del proceso de regeneración del caucho, caucho desvulcanizado, y de la gasificación/pirólisis, negro de humo.

Del caucho desvulcanizado procedente de NFU se pueden indicar las siguientes: aditivos del asfalto, recubrimientos y revestimientos, juntas de expansión, componentes para cableado, cintas transportadoras, calzado, productos moldeados, componentes para vehículos como bandejas, guardabarros, alfombrillas, etc.

El negro de humo podría utilizarse como aditivo del asfalto o en la fabricación de productos de carbono, caucho o plásticos como cintas transportadoras, calzado, tintas, sellantes, recubrimientos, componentes para la industria automovilística, carbono activo, etc.

#### 6.4. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE NFU

Los NFU pueden utilizarse como combustible de sustitución en cementeras y otras instalaciones, ya que poseen un elevado poder calorífico. Con la valorización energética de los NFU se puede eliminar o reducir la cantidad de NFU a la vez que se limita el consumo de combustibles fósiles.

El NFU se puede aprovechar entero, cortado, triturado (incluidas las raspaduras procedentes del recauchutado) o en polvo. La selección se efectuará en función de las características del horno donde tenga lugar la combustión. En general, si las prácticas operativas son correctas, las temperaturas lo suficientemente elevadas y el tiempo de residencia adecuado, no deberían producirse impactos negativos.

Además, una segunda ventaja de la utilización de NFU como combustible de sustitución en la fabricación de clínker es la aportación de minerales y metales que se incorporan al proceso de producción, en sustitución de materias primas reduciendo así su consumo.

Se ha comprobado que la utilización de NFU triturado, en un porcentaje de sustitución del 20%, en la producción del clínker produce un resultado similar al obtenido utilizando únicamente coque de petróleo como combustible. Además, se reducirían las emisiones de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ , por lo que, la valorización energética de NFU en cementera es técnica y medioambientalmente viable.

Tanto la gasificación como la pirólisis constituyen una valorización energética del residuo, ya que se consigue un aprovechamiento energético del material. No obstante, como se ha indicado con anterioridad, se trata de procesos en investigación que todavía no han demostrado una viabilidad técnico-económica a escala industrial y, por tanto, su implantación en la actualidad es limitada.

El gas obtenido presenta un elevado poder calorífico y, normalmente, se emplea como combustible en el propio reactor. Por otra parte, tanto los aceites condensables como el negro de humo se podrían utilizar como combustible en otro proceso.

Asimismo, los NFU pueden utilizarse como fuente de energía en los hornos eléctricos de arco utilizados para fabricar acero a partir de chatarra. El carbono contenido en los

NFU actúa como un sustituto de la antracita y permite reducir el óxido de hierro. Además, los NFU aportan una cantidad de acero que se incorpora al proceso de producción. La mayoría de estas instalaciones puede utilizar triturado de NFU.

## 6.5. CONSIDERACIONES EN LA CONTRATACIÓN DE SERVICIOS

El éxito de la gestión de un acopio de NFU depende de que se seleccionen contratistas capaces de llevar a cabo las tareas requeridas en una forma rentable, de acuerdo con los procedimientos y tiempos programados.

Una de las claves de éxito en este tipo de actuaciones es la selección de contratistas con experiencia demostrada que puedan garantizar la correcta ejecución de los trabajos y a un coste razonable.

En el caso de los contratistas que vayan a realizar un tratamiento *in-situ* llevado a valorización directamente, se recomienda solicitar, como mínimo, los siguientes requisitos:

- experiencia demostrable en la gestión de NFU,
- cartas de compromiso con diferentes valorizadores finales para la recepción del material con las prescripciones técnicas del mismo,
- estudio de costes y de viabilidad, en donde se debe reflejar las características técnicas de la maquinaria utilizada junto a los rendimientos, prescripciones técnicas del material a obtener y la justificación del coste por tonelada del tratamiento de NFU (incluyendo como mínimo coste de mantenimiento, consumo energético, personal y acondicionamiento del acopio).

Para el resto de tratamientos, y de cara a realizar una correcta evaluación de los contratistas, se recomienda solicitar la siguiente información:

- los nombres de todas sus empresas anteriores para entender mejor el historial de la empresa,
- la información financiera de los últimos 2 ó 3 años para identificar su solidez financiera,
- descripción detallada de sus trabajos en proyectos anteriores comparables y ejemplos de clientes para que se pueda verificar su experiencia y desempeño,
- relación y descripción de los equipos ya instalados que van a utilizarse en el proyecto para evaluar la capacidad de tratamiento,

- usos que se le darán a los NFU procesados y qué porcentaje de los productos espera obtener a partir de los mismos y especificaciones de los productos y las bases del contrato o cartas de compromisos con un cliente que desee el producto final, de forma que se disminuya la vulnerabilidad del mercado. También podría existir la posibilidad de que ambas empresas se presenten en forma de UTE (gestor de NFU y empresa que comercializa el producto).

En el proceso de licitación y adjudicación de contratos es recomendable que se contemplen los aspectos anteriores, a fin de contar con más datos para la evaluación.

También se recomienda que en el pliego de prescripciones técnicas para la contratación de los servicios, se exija el % de los residuos de NFU que deberán ser objeto de valorización material (% a evaluar por cada Administración), a fin de fomentar la jerarquía de residuos que prioriza este tipo de valoración frente a la energética.

A cada uno de los criterios que se incluyan en la convocatoria se le debe asignar un valor ponderado según su importancia. Las propuestas deberían ser evaluadas y calificadas por más de un técnico con experiencia en el sector, para finalmente seleccionar al contratista de acuerdo a las puntuaciones obtenidas.

Cuando se necesitan limpiar varios acopios una alternativa es precalificar a los posibles contratistas mediante un proceso modificado de convocatoria o solicitando que presenten su perfil profesional. Este proceso puede repetirse periódicamente para integrar a nuevos participantes en la industria. Cuando un acopio requiere retirada y gestión, se selecciona al contratista más adecuado.

En España hay gestores con capacidad suficiente para tratar todos los acopios de NFU existentes.

Antes de intervenir un acopio, es recomendable analizar el precio del mercado de los productos del tratamiento y estudiar su proyección al menos a 2 años.

Del mismo modo, es conveniente hablar con los sistemas de gestión de NFU existentes e intermediarios tanto nacionales como internacionales que garanticen una eficaz y ágil salida de los productos al mercado.



## REHABILITACIÓN DEL TERRENO AFECTADO EN ACOPIOS DE NFU DESMANTELADOS

**P**ara llevar a cabo la rehabilitación de cualquier terreno afectado es necesario conocer qué tipo de contaminación se espera encontrar en el emplazamiento y el alcance de dicha contaminación, si la hubiera, para poder posteriormente ejecutar las actuaciones de rehabilitación correspondientes.

En este apartado se expone la información sobre el alcance de los trabajos de caracterización del medio y de los tipos de actuaciones a llevar a cabo para devolver al emplazamiento a su estado original.

### 7.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MEDIO

Aunque inicialmente no se espera que un acopio que sólo haya contenido NFU afecte al suelo, una vez gestionados los mismos, resulta necesario caracterizar el estado ambiental del subsuelo del emplazamiento.

#### 7.1.1. Actuaciones de caracterización

Para realizar la caracterización ambiental de los suelos y/o aguas subterráneas de un emplazamiento se deben llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Recopilación previa de información
- Diseño del Plan de muestreo
- Ejecución de los trabajos de campo
- Análisis de las muestras
- Interpretación de los resultados

### 7.1.2. Informe de los trabajos realizados

Los trabajos realizados y los resultados obtenidos se plasmarán en un informe que debe contener, al menos, la siguiente información:

- Descripción clara del área de estudio, así como de los objetivos del proyecto de caracterización.
- Resumen de la información recopilada en la investigación histórica y en el estudio del medio físico.
- Metodología empleada.
- Descripción de la estrategia de investigación diseñada y ejecutada para la caracterización del emplazamiento en relación a la naturaleza, concentración y extensión de la contaminación.
- Planos del emplazamiento a escala adecuada, en los que se representen claramente los puntos de muestreo, etc.
- Descripción del perfil del suelo en base a los datos de los puntos de muestreo realizados, recogidos en los correspondientes partes de campo, que también se incluirán.
- Listado de las muestras analizadas, incluyendo las determinaciones llevadas a cabo en cada una de ellas.
- Resultados de los análisis físico-químicos realizados en las muestras recogidas.
- Evaluación e interpretación de los resultados.
- Valoración de riesgos ambientales, si procede.
- Conclusiones sobre el estado ambiental de los materiales investigados y requisitos derivados para posibles actuaciones futuras de rehabilitación del terreno.

### 7.2. REHABILITACIÓN DEL TERRENO

Cada emplazamiento tiene sus propias características y desafíos que requieren una estrategia de reducción específica.

Sin embargo, las diferencias entre los emplazamientos pueden ser significativas. Entre estas diferencias, que tienen un gran impacto en el diseño y el rendimiento del proyecto, se incluyen entre otros los siguientes factores:

- El número de neumáticos
- El estado de los neumáticos (por ejemplo, degradación, entremezclados con tierra/escombros, con llantas, quemados, troceados)
- La ubicación de los neumáticos (geográficamente, física y ambientalmente)
- El método de colocación de los neumáticos (por ejemplo, colocados mecánicamente, vertidos en superficie, enterrados)
- Los tipos de neumáticos (por ejemplo, turismos, camiones, industriales)
- Las condiciones físicas y ambientales originales en el emplazamiento
- Las condiciones físicas y ambientales actuales en el emplazamiento
- El acceso al suministro eléctrico y de agua
- La superficie disponible en el emplazamiento para el procesamiento y almacenamiento
- Las limitaciones de acceso físico (por ejemplo, la necesidad de construir o mejorar las carreteras)
- La presencia de restos de residuos de construcción y demolición (RCD) y/o materiales potencialmente peligrosos o peligrosos
- Las características legales

Los principales pasos a seguir a la hora de acometer una actuación de rehabilitación de un terreno afectado por un acopio de NFU se exponen a continuación.

### **7.2.1. Actuaciones previas**

En algunos casos, posteriormente a la retirada de los residuos en superficie, y antes de iniciar los trabajos de rehabilitación del terreno, se requiere la utilización de un rastrillo para recoger y retirar los fragmentos de NFU superficiales que permanecen porque no han podido ser recogidos por los equipos pesados que realizan la carga de los neumáticos en los vehículos de transporte.

Estos residuos deben ser gestionados y si el volumen es suficiente, puede enviarse a plantas de tratamiento de NFU.

### **7.2.2. Técnicas de descontaminación**

Como se deduce de lo expuesto en apartados anteriores, aunque normalmente no es necesario acometer actuaciones de descontaminación en emplazamientos que han soportado acopios de NFU, puede suceder que, tras la valoración de los resultados de la caracterización ambiental, se concluya que hay que rehabilitar el medio.

En caso de existir otros residuos almacenados en el acopio, pueden movilizarse otros contaminantes diferentes a los asociados a los NFU, pudiendo llegar a afectar a capas más profundas del subsuelo e incluso a las aguas subterráneas. En caso de incendio, la generación de aceite pirolítico y humo, produce mayor intensidad y extensión de contaminación.

Las diferentes técnicas de descontaminación para los principales medios afectados (suelos y aguas subterráneas) se exponen a continuación.

### Descontaminación de los suelos

En cuanto a la descontaminación de suelos existen los siguientes tipos de técnicas:

- Excavación y eliminación en vertedero industrial
- Tratamientos biológicos como el *landfarming*, *bioventing*, fitorremediación y rizorremediación
- Tratamientos térmicos, como la desorción térmica e incineración,
- Tratamientos físicos químicos, como la ventilación de suelos (SVE), oxidación química o lavado de suelos
- Tratamientos de inertización y aislamientos, como las celdas de confinamiento, la estabilización/neutralización y vitrificación

La elección de uno u otro depende fundamentalmente de los contaminantes detectados y características del terreno.

Como se ha comentado anteriormente, en acopios donde sólo se han almacenado NFU, no se espera que pueda existir afección al medio. Como máximo, debido a la lixiviación de metales, puede llegar a afectarse las capas más superficiales del suelo y como consecuencia, podría ser necesario retirar y gestionar ese terreno.

### Descontaminación de las aguas subterráneas

La afección de aguas subterráneas por la presencia de un acopio de NFU se plantea como un escenario hipotético. Esta afección podría darse en unas condiciones favorables como una alta permeabilidad del suelo del emplazamiento, un nivel muy somero del nivel freático y una tasa de lixiviación de metales elevada.

Ejemplos de técnicas de descontaminación de aguas subterráneas son el bombeo y tratamiento de las aguas, alto vacío o *air sparging*.



### 7.2.3. Remodelación topográfica del terreno

Tras los trabajos de gestión de los residuos del acopio, la superficie del terreno puede presentar baches e irregularidades debido sobre todo al movimiento de los equipos pesados. Generalmente resulta necesario restaurar la superficie a su perfil original.

### 7.2.4. Control de la erosión

En ocasiones, hasta que se restablezca la vegetación de la superficie afectada por el acopio, es necesario llevar a cabo actuaciones de control de la erosión por escorrentía.

El manejo adecuado de la escorrentía permite controlar el exceso del agua de lluvia que no se infiltra por el suelo y produce la erosión del suelo.

Las prácticas de manejo de escorrentía incluyen desde obras de manejo de la misma hasta la aplicación de bioingeniería. Entre los sistemas de control implementados destacan las cubiertas orgánicas. Existen diversidades de cubiertas que pueden aplicarse, como por ejemplo fijadores (*tackifiers*) o redes para el control de revestimientos orgánicos (*Mulch-control netting*, MCN).

### 7.2.5. Revegetación y restauración paisajística

Muchos de los acopios existentes se ubican sobre las parcelas cuyo uso original era agrario o forestal. Cuando el objetivo de la rehabilitación es devolver a la parcela a su estado ambiental inicial, las actuaciones culminan con la revegetación y restauración paisajística de la misma.

La reintegración de la parcela en el entorno pasa por realizar una preparación del terreno (despedregado, rastrillado, extendido de tierra vegetal, etc.) y la ejecución de siembras, hidrosiembras y plantaciones en función de la vegetación potencial existente en el entorno de la zona de actuación.

Deben preverse operaciones de mantenimiento o conservación (siegas, riegos, abonados o reposiciones de marras) al menos durante un año tras la finalización de los trabajos.

### 7.2.6. Documentación de las actuaciones

La evolución de las actuaciones de rehabilitación del emplazamiento debe ser exhaustivamente documentada por medio de fotografías y/o grabaciones de vídeo de las condiciones del terreno, pilas residuales, edificios y vallas. La documentación debe ser mantenida puesto que será útil para ayudar a solucionar problemas o cuestiones que puedan surgir posteriormente.



## COSTES ESTIMADOS DE LA GESTIÓN DE ACOPIOS

**E**n la mayoría de los casos, un acopio de NFU no da beneficios. La generación de acopios de NFU, sin que se traten adecuadamente, acaba costando dinero debido a la pérdida de sus propiedades, que impiden su segundo uso, y al riesgo de generación de incendios, cuya recuperación ambiental implica costes mucho mayores que el de una adecuada gestión.

A continuación se exponen a modo orientativo, los costes asociados tanto a la estabilización de los acopios, como a su limpieza, es decir, a las actuaciones de gestión y rehabilitación del espacio natural.

### 8.1. COSTES DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS

#### 8.1.1. Plagas y enfermedades

La medida principal para evitar la presencia de mosquitos en los acopios de NFU, es la eliminación de las acumulaciones superficiales de agua dentro de los neumáticos. Los neumáticos deben ser almacenados de tal forma que no se produzca dicha acumulación. Este aspecto se puede tener en cuenta durante los trabajos de reordenación de pilas almacenamiento, cuyo coste se expone en el apartado de incendios.

Otras actuaciones para prevenir estos riesgos, son el cubrimiento de los NFU y la extracción de líquidos de los NFU. El precio de los geotextiles de 200 g/cm<sup>2</sup> ronda los 1,1 €/m<sup>2</sup>, por lo que el coste de esta actuación está directamente relacionada con la superficie que se quiere cubrir. En cuanto a la extracción de líquidos, la hora de un camión cisterna autoaspirante de 10 m<sup>3</sup> de capacidad para la recogida y transporte de residuos líquidos asimilables a no peligrosos, cuesta aproximadamente 150 €.

Respecto a la aplicación de pesticidas, medida aplicable si las circunstancias del acopio así lo aconsejan (presencia de zonas de acumulación de aguas, cercanía a poblaciones, etc), el coste varía en función del tipo de químico aplicado y el tamaño y localización del acopio.

### **8.1.2. Incendios**

Los costes de las medidas de prevención de generación de incendios están relacionados directamente con el volumen de NFU existentes en el acopio y superficie que éste ocupa, sobre todo en lo que se refiere al coste del reordenamiento de las pilas para cumplir requisitos de almacenamiento. También influye si son necesarios tratamientos primarios para aumentar el volumen almacenado por pila.

La redistribución de NFU enteros con vehículos pesados ronda los 400 €/d si se trata de una retroexcavadora mixta de mediana potencia sobre tractor de neumáticos con equipo de pala cargadora en su parte delantera y una retropala en su parte posterior. En el caso de una retroexcavadora hidráulica de ruedas, asciende a unos 600 €/d.

La reposición del vallado perimetral de malla de acero galvanizado por simple torsión puede ascender a 3,6 €/m. El desbroce de vegetación mediante medios mecánicos, incluyendo transporte y gestión del material ronda los 0,62 €/m<sup>2</sup>.

En el caso de que por el riesgo del emplazamiento sea necesaria la presencia de personal de seguridad en el acopio, el coste del alquiler de una caseta prefabricada es de aproximadamente 200 €/mes. A este coste habría que añadir el salario de los trabajadores del servicio de vigilancia.

En cuanto a los costes de las medidas de lucha contra incendios, los sistemas a implementar dependen de muchos factores: si se trata de un acopio exterior o en el interior de un edificio, de las cantidades almacenadas y distribución de las mismas, etc. Aunque se pueden ofrecer costes individuales de elementos de suministro de aguas contra incendios, éstos no serían representativos puesto que los presupuestos suelen realizarse por equipamientos completos.

### **8.1.3. Contaminación de suelos y aguas**

La principal medida a adoptar para la prevención de la contaminación del suelo en acopios de NFU, puesto que no es posible impermeabilizar el suelo sobre el que se asientan, es reducir o anular el contacto con el agua, a través del cubrimiento de los NFU, cuando es viable. El coste de esta medida se ha expuesto en el apartado 8.1.1.

Otra medida es la instalación de canales de drenaje para desviar la escorrentía procedente del exterior del acopio, reduciendo así la lámina de agua que fluye en superficie. El coste de instalación de un canal de drenaje para accesos, con rejilla superior, asciende a 47 €/m y para el resto del perímetro, a unos 30 €/m.

## 8.2. COSTES DE TRATAMIENTO DE NFU

### 8.2.1. Aspectos generales que influyen en el coste de la gestión

Los NFU son un residuo que tiene valor negativo (su gestión cuesta dinero) pero existen soluciones de gestión ecoeficientes.

El desmantelamiento de un acopio de NFU debe realizarse de manera ambientalmente racional. El coste total dependerá de numerosos factores, entre los que se incluyen:

- El volumen de NFU
- La disponibilidad de una planta de tratamiento adecuada cercana
- Los costes de transporte y la tecnología para triturar neumáticos
- El marco de tiempo, ya que es probable que el coste de la gestión aumente proporcionalmente al tiempo que los NFU llevan en el acopio
- La naturaleza del almacenamiento temporal
- La presencia de otro tipo de residuos
- La situación del mercado
- La localización del acopio
- Si el acopio ha sufrido un incendio

Los NFU pueden ser gestionados siguiendo la cadena de valor, siendo sometidos a procesos de triturado o granulado en instalaciones existentes en España, o pueden ser gestionados a través del mercado de exportación.

### 8.2.2. Costes aproximados de cada una de las fases de la cadena de valor

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los NFU son sometidos a operaciones de trituración y/o granulación, dentro de la cadena de valor, los costes de gestión de NFU se pueden clasificar en los siguientes:

1. Costes de la manipulación de NFU en el acopio
2. Costes de la trituración de NFU *in-situ*
3. Costes de la carga de NFU sobre los vehículos de transporte
4. Costes de transporte hasta el punto de gestión
5. Costes de trituración
6. Costes de granulación
7. Costes de transporte desde el punto de trituración/granulación al punto de valorización
8. Costes de valorización a cementera

A continuación se exponen costes aproximados para cada uno de estos conceptos.

### 1. Costes aproximados de la manipulación de NFU en el acopio

Los vehículos que pueden utilizarse, en función de las características del acopio son los siguientes:

- Si los accesos a las pilas de NFU son transitables por camiones se puede hacer uso de retroexcavadoras con pulpo o pinza, cuyo coste ronda los 50€/h.
- Si no es posible el acceso a pilas, se utilizan palas cargadoras, cuyo coste ronda los 40 €/h.
- En determinadas ocasiones es necesario el uso de retroexcavadoras compactas o manipuladores telescópicos, cuyo coste es de 30 €/h y 140 €/h, respectivamente.
- En acopios de pequeño tamaño es recomendable el uso de camiones grúa con pulpo, cuyo coste asciende a 50 €/h.

Los costes ofrecidos variarán en función de otros aspectos como las capacidades de los vehículos, la duración de la actividad, localización del acopio, etc.

En esta fase puede ser necesaria la realización de trabajos adicionales tales como la extracción de los NFU que puedan estar parcialmente enterrados, la limpieza de la superficie de los NFU, la eliminación de materiales y/o residuos extraños o extracción de llantas que puedan todavía permanecer junto a los NFU.

### 2. Costes aproximados de la trituración de NFU in-situ

Como se ha comentado en apartados anteriores, si la planta de tratamiento de NFU se localiza a gran distancia, o si el volumen de NFU acopiado es muy elevado, se podría plantear realizar una trituración primaria *in-situ*, para reducir el volumen del residuo y minimizar el coste de transporte.

Disponer de una trituradora *in-situ* es muy costoso debido a que tiene un alto consumo eléctrico y elevado coste de mantenimiento, sobre todo si los NFU están mezclados con tierras.

A estos precios habría que añadir los costes de transporte de la trituradora hasta el acopio, los costes de las medidas de seguridad frente a robos y actos vandálicos contra la maquinaria y los costes de amortización y mantenimiento de la maquinaria.

No es posible ofrecer un rango de costes para este tipo de tratamiento. Estos aspectos deben ser justificados en el estudio de costes y viabilidad para cada caso concreto.

### 3. Costes aproximados de la carga de los NFU sobre los vehículos de transporte

Los costes de la carga varían en función del tipo de neumático, su estado y la ubicación del mismo y se encuentran en un rango de entre 6 a 10 €/t.

### 4. Costes aproximados del transporte hasta el punto de gestión

El problema principal de la gestión de los NFU es el transporte y depende sobre todo de la distancia. En base a la información recopilada, se ha estimado un coste medio de transporte de 1 €/km.

Para optimizar el coste del transporte, como se ha comentado anteriormente, puede ser recomendable realizar tratamientos *in-situ*, como compactación y trituración, para aumentar las toneladas transportadas. Por cada camión de neumáticos enteros, se pueden llevar de tres a cuatro veces el número de triturados.

### 5. Costes aproximados de trituración

El coste de tratamiento de los NFU en planta autorizada mediante la trituración y separación de los componentes de los neumáticos varía de 30 a 50 €/t en caso de los NFU incluidos en el Real Decreto 1619/2005, y de 120 a 180 €/t en el caso de los neumáticos agrícolas e industriales.

El amplio rango se debe, por una parte, a la diferencia de coste que existe entre tratar NFU de turismos y NFU industriales.

Por otro lado, este coste se encarece según la localización de la planta. Por ejemplo, en las islas el coste de trituración puede incrementarse hasta un 70% debido a la falta de volumen crítico para una instalación tipo y las condiciones logísticas de las islas. El coste en las Islas Canarias puede ascender hasta los 95 €/t.

### 6. Costes aproximados de granulación

Hacer granulación es más caro que hacer trituración, puesto que el producto final obtenido es más refinado. El rango de coste de granulación se estima en 70-75 €/t. En ese rango se incluye también la separación de fracciones de hierro y textil.

### 7. Costes aproximados de transporte desde el punto de trituración/granulación al punto de valorización

Los costes de nuevo varían en función de la distancia, en un rango de 1 a 1,5 €/km, con cargas máximas de 24 t.

### 8. Costes aproximados de valorización a cementera

*¿Qué NFU aceptan las cementeras?* Existen 17 cementeras autorizadas para utilizar NFU como combustible, aunque sólo las de Gádor y Jerez de la Frontera admiten NFU de turismos enteros. Ninguna tritura en sus instalaciones y, en términos generales, las cementeras rechazan NFU industriales.

El coste de la gestión depende de las características del producto y situación del mercado.

Actualmente, las cementeras pueden llegar a pagar entre 10 a 30 €/t si se lleva el producto triturado hasta la instalación, lo que puede contribuir a cubrir los costes de transporte.

Para los acopios situados al oeste de la Península, las plantas en Portugal son una buena alternativa, llegando a pagar por los NFU de 35 a 40 €/t.

En conclusión, la valorización energética de los NFU a cementeras de los NFU no cubre los costes de trituración y transporte. Por otro lado, cuanto mayor grado de trituración del NFU, más alto es el precio de venta a cementera, pero también más caro el coste de tratamiento.

#### **8.2.3. Costes aproximados de la gestión exterior**

Cada vez es más complicado exportar NFU debido principalmente al problema de los vectores (presencia de mosquitos en NFU enteros que transmiten enfermedades).

La valorización energética de NFU enteros de estos acopios se puede realizar en terceros países siempre que se cumpla el Convenio de Basilea y sus reglamentos de aplicación.

En los costes de transporte asociados al mercado exterior, la distancia no es el parámetro que define el coste. Influyen sobre todo factores relacionados con la logística y las necesidades de los países de destino de los NFU.



En cuanto a la logística, el coste depende de las opciones de transporte disponibles en el momento de querer realizar la exportación, que se adapten a las necesidades de dicha exportación, es decir, del dónde y cuándo, y de si es necesario pagar idas y vueltas del medio de transporte.

En cualquier caso, todas las exportaciones a terceros países deben cumplir con el Convenio de Basilea junto a los Reglamentos que lo desarrollan.

### **8.3. COSTES DE LA REHABILITACIÓN DEL ESPACIO NATURAL**

#### **8.3.1. Estimación de costes de caracterización del medio**

La caracterización del medio implica, como se ha visto anteriormente, la realización de una serie de actuaciones muy variadas. Lo que más encarece la caracterización es, obviamente, la ejecución de los trabajos de campo. A modo de ejemplo, y puesto que es la opción más probable, la ejecución de calicatas puede ascender a unos 800 € (300 € el desplazamiento de la excavadora mixta o giratoria, y 500 € la jornada de trabajo de dicha excavadora).

#### **8.3.2. Estimación de costes de rehabilitación del emplazamiento**

Como se ha comentado en apartados anteriores, es muy poco probable que los acopios de NFU afecten a al suelo, las aguas subterráneas y/o cauces superficiales.

La actuación más habitual suele ser la excavación de las capas más superficiales del terreno, que pueden verse afectadas por lixiviación de metales. A modo orientativo, el coste por m<sup>3</sup> de suelo excavado es de 3,5 €.

#### **8.3.3. Remodelación topográfica del terreno**

El coste de este tipo de actuaciones depende fundamentalmente de la extensión a tratar y tipo de maquinaria implicada en los trabajos, ésta última podría ser la misma que la utilizada en la carga y manipulación de los NFU en el acopio.

En términos generales, el coste de una pala cargadora sobre neumáticos acometiendo labores de limpieza y preparación topográfica del terreno, es de aproximadamente 0,8 €/m<sup>2</sup>.

#### **8.3.4. Control de la erosión**

El coste del control de la erosión de la superficie de la parcela depende fundamentalmente del tipo de material utilizado y de la extensión a tratar.

Por ejemplo, el coste de redes o mantas orgánicas en taludes, ronda los 6 €/m<sup>2</sup>.

### **8.3.5. Revegetación y restauración paisajística**

Los costes de estas actividades dependen de la naturaleza del terreno, de las condiciones ambientales del suelo remanente y de las características del paisaje del entorno. En el caso del subsolado, depende de si se trata de suelo suelto o roca y de la pendiente del mismo.

A modo de ejemplo, el coste de la preparación del terreno para siembras manuales o hidrosiembras, ronda los 7 €/m<sup>2</sup>.

La generación de acopios de NFU, sin que se traten adecuadamente, acaba costando dinero debido a la pérdida de sus propiedades, que impiden su segundo uso, y al riesgo de generación de incendios, cuya recuperación ambiental implica costes mucho mayores que el de una adecuada gestión.

## OTRAS CONSIDERACIONES

**E**n el alcance del Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso, se excluyen los neumáticos de bicicleta y aquellos cuyo diámetro exterior es superior a 1.400 mm. En ambos casos, su gestión es difícil.

En los NFU de bicicletas, no existe una estructura que facilite una correcta recogida y posterior gestión. En el caso de los NFU de gran diámetro, el problema radica en el alto coste de su tratamiento.

Por lo tanto, resulta necesario crear opciones de gestión adecuadas para cada una de estas tipologías de NFU.

### 9.1. NEUMÁTICOS DE BICICLETA

#### 9.1.1. Procedencias de los neumáticos

Dependiendo de la procedencia de los neumáticos, los residuos adquieren diferente condición, según se expone en la Tabla 7.

Procedencia	Condición del residuo
Particulares	Doméstico
Talleres de reparación de bicicletas, empresas de excursiones en bici, etc.	Comercial
Fábricas de ruedas o bicicletas	Industrial

TABLA 7. Procedencia de los neumáticos y condición que adquiere el residuo

### 9.1.2. Agentes responsables de su gestión

#### *Neumáticos de bicicleta procedentes de particulares*

La responsabilidad de quién genera el residuo es entregarlo en los puntos de recogida municipales que se dispongan al efecto, si bien la responsabilidad de la gestión corresponde a las entidades locales (EELL), dado que se trata de un residuo doméstico. No obstante, algunas ordenanzas municipales no lo recogen, por lo que deberían actualizarse.

Se han localizado iniciativas de gestión locales o regionales como por ejemplo, en Alberta (Canadá) donde se han instalado «jaulas de neumáticos de bicicletas» en los aparcamientos de las tiendas de artículos deportivos, en varias tiendas de bicicletas o depósitos de reciclaje, tal y como se expone en la Fotografía 11. La entidad de gestión ofrece un listado de lugares donde se localizan estas jaulas.



[Fuente: Alberta Recycling]

FOTOGRAFÍA 11. *Jaula de recogida de NFU de bicicletas en Alberta, Canadá*

*Neumáticos de bicicleta procedentes de talleres de bicis, empresas de excursiones en bici, etc.*

Como se ha expuesto anteriormente, se trata de un residuo comercial, generado en el sector servicios. La responsabilidad de la gestión corresponde a las EELL en la medida en la que así lo tengan recogido en las ordenanzas municipales, no sólo por el tipo de residuo sino también por la cantidad a gestionar. En el resto de casos, la responsabilidad de la gestión corresponde al productor del residuo, es decir, a la empresa que lo genera.

*Neumáticos de bicicleta procedentes de fábricas de ruedas o de bicicletas*

Debido a que se trata de un residuo industrial, la responsabilidad de la gestión del residuo es del productor, en este caso, el propio fabricante, que deberá gestionar los NFU a través de gestores autorizados.

## **9.2. NEUMÁTICOS DE DIÁMETRO >1.400 MM**

La responsabilidad de la gestión del residuo es del que lo genera.

Siguiendo el principio de jerarquía en la gestión de residuos, debe evitarse que la gestión final de estos residuos sea a vertedero y deben ser gestionados a través de gestor autorizado.

A este respecto, los sistemas integrados de gestión intentan que estos NFU sean gestionados correctamente a través de los gestores autorizados y preparados para esta clase de neumáticos.

En concreto, SIGNUS ofrece un servicio de recogida a todos los puntos de generación acreditados en toda España, que tendrán la opción de solicitar la recogida de este tipo de NFU, si así lo consideran oportuno. El servicio es ofrecido y facturado directamente por el recogedor de la zona.

Todas las medidas de neumáticos mayores de 1.400 mm que pueden ser gestionadas por los gestores de SIGNUS, se han agrupado en una nueva categoría de gestión: la SG1. Aquellos neumáticos mayores de 1.400 mm no incluidos en la categoría necesitan medios de recogida especiales, y se agrupan en otra categoría especial: la SG2. Su recogida no puede realizarse a través del sistema de gestión, siendo necesario solicitar directamente a SIGNUS un presupuesto a la medida de las circunstancias.



# **10**

## **ANEXOS**

### **ANEXO I. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CARACTERIZACIÓN DE ACOPIOS DE NFU**

CARACTERIZACIÓN DE ACOPIOS DE NFU			
<b>I. INFORMACIÓN GENERAL</b>			
Nombre de la instalación:		GPS	Latitud:
Dirección:			Longitud:
<u>Propietario del suelo:</u>		<u>Operador:</u>	
Nombre:		Nombre:	
Dirección:		Dirección:	
Teléfono de contacto:		Teléfono de contacto:	
Usos anteriores de la parcela conocidos:			
<b>II. TIPO Y CANTIDAD DE NFU</b> (Completar Anexo I)			
<input type="checkbox"/> Turismos <input type="checkbox"/> Camiones <input type="checkbox"/> Agrícolas <input type="checkbox"/> Industriales <input type="checkbox"/> NFU Triturados <input type="checkbox"/> Otros			
Máxima Capacidad de Depósito:			
<b>III. EQUIPAMIENTO</b>			
Equipo de tratamiento <i>in-situ</i>	<input type="checkbox"/> Trituradora	<input type="checkbox"/> Embaladora	<input type="checkbox"/> Cortadora <input type="checkbox"/> Otros
<b>IV. DOCUMENTACIÓN</b>			
<input type="checkbox"/> Plan de operación <input type="checkbox"/> Plan de emergencia (incendios) <input type="checkbox"/> Plan de clausura <input type="checkbox"/> Garantía financiera			
<b>V. OPERACIÓN</b>			
Días de operación/año:		Nº Empleados:	
Horario de apertura al público:			
Almacenamiento	<input type="checkbox"/> Interior de edificio	<input type="checkbox"/> Al aire libre	
Método/s de almacenamiento:			
Descripción general del proceso:			
<b>VI. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO (R.D.1619/2005 Y OTROS)</b>			
Vallado perimetral completo: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		Altura (m):	Tipo (metálico,muro):
Almacenamiento aislado: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No			
Número de Accesos:			
Acceso Nº1	Anchura (m):	Altura (m):	
Tipo de apertura:			
Descripción:			
Señalización:			
Acceso Nº2	Anchura (m):	Altura (m):	
Tipo de apertura:			
Descripción:			
Señalización:			
Acceso Nº3	Anchura (m):	Altura (m):	
Tipo de apertura:			
Descripción:			
Señalización:			
Existencia de calles: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No			
Anchura de calles:			
Superficie de la instalación	<input type="checkbox"/> Cemento <input type="checkbox"/> Asfalto	<input type="checkbox"/> Arcillas	<input type="checkbox"/> Suelo Natural <input type="checkbox"/> Otro



VII. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y LUCHA CONTRA INCENDIOS	
Suministro de H <sub>2</sub> O: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Capacidad (m <sup>3</sup> /s):
Elementos del Sistema Contra incendios	<input type="checkbox"/> Hidrantes <input type="checkbox"/> Pozos <input type="checkbox"/> Tanques <input type="checkbox"/> Otros
Lineas de alta tensión cercanas: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Distancia (m):
Presencia de vigilancia: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Horario:
Equipos de emergencia <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Ubicación:
Zona de fumadores <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Ubicación:
Edificios resistentes al fuego <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Ubicación:
Suministro eléctrico <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Ubicación:
Descripción iluminación:	
Carreteras de acceso:	
*Localizar elementos en el plano	
VIII. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE PLAGAS	
Plan de control de plagas: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Descripción:	
IX. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES COMBUSTIBLES	
<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Tipología: Ubicación: Condiciones:
X. GESTIÓN DE RESIDUOS DIFERENTES A NFU	
Descripción de la gestión:	
*Localizar elementos en el plano	
XI. GESTIÓN DE LIXIVIADOS	
Descripción de elementos de control y gestión:	
*Localizar elementos en el plano	
XII. INFORMACIÓN MEDIOAMBIENTAL	
Descripción topografía (pendientes):	
Geología/Sustrato:	
Hidrogeología del entorno:	
Vegetación circundante:	
Dirección predominante del viento:	
OBSERVACIONES	

**PLANO DE LAS INSTALACIONES**

\*Incluir distancias entre elementos

ANEXO I. CARACTERÍSTICAS DEL ALMACENAMIENTO							
Pila Nº	Descripción		Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> ) o número de NFU	Observaciones
	Tipo de NFU <sup>1</sup>	Disposición <sup>2</sup>					

<sup>1</sup> (T) Turismo, (C) Camión, (A) Agrícola, (I) Industrial, (T1) Triturado > 50 mm, (T2) Triturado < 50 mm, (O) Otros (moto, bicicleta, etc.

<sup>2</sup> (G) A granel, (A) Apilados, (E) Entrelazados, (M) Mezcla (indicar % de cada disposición, por ejemplo: 20% apilados-80% entrelazados)

**Posible presencia de NFU enterrados:**

Indicios de barrancos  Sí  No Observaciones:

Indicios de movimientos de tierras  Sí  No Observaciones:

**ANEXO II. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO**

Ríos, cauces superficiales Distancia (m):

Espacios naturales Distancia (m):

Edificios comerciales/industriales Distancia (m):

Viviendas Distancia (m):

Escuelas/hospitales/parques/aeropuertos Distancia (m):

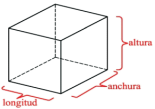
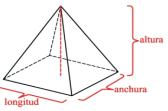
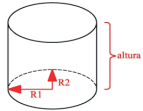
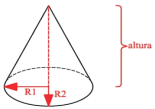
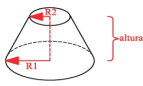
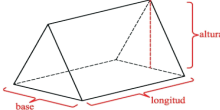
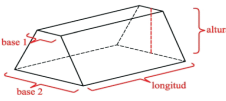
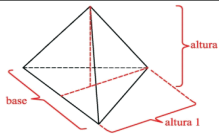
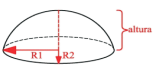
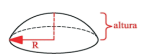
Esquema del entorno

Nota: incluir direcciones de pendientes principales, caminos de acceso, cortafuegos internos e externos, presencia de árboles y arbustos, línea: eléctricas y/o gas.



## **ANEXO II. FÓRMULAS PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE LAS PILAS**

**CÁLCULO DE VOLÚMENES**

<p>Cubo u ortoedro</p>		<p>Volumen= longitud(m) x anchura(m) x altura(m) = __m<sup>3</sup></p>
<p>Pirámide rectangular</p>		<p>Volumen= (1/3) x longitud(m) x anchura(m) x altura(m) = __m<sup>3</sup>                  Nota: la altura es la distancia perpendicular a la base del rectángulo, no la longitud desde un lado del mismo.</p>
<p>Cilindro</p>		<p>Volumen= R1(m) x R2(m) x altura(m) x 3,14 = __m<sup>3</sup>                  Nota: para una base elíptica R1 debe medirse en el diámetro más largo y R2 debe medirse en el diámetro más corto. Para un círculo, R1=R2.</p>
<p>Cono</p>		<p>Volumen= 1,05 x R1(m) x R2(m) x altura(m) = __m<sup>3</sup>                  Nota: para una base elíptica R1 debe medirse en el diámetro más largo y R2 debe medirse en el diámetro más corto. Para un círculo, R1=R2.</p>
<p>Cono truncado</p>		<p>Volumen= 1,05 x altura(m) x [R1<sup>2</sup>(m) + R2<sup>2</sup>(m) + (R1 x R2)(m)] = __m<sup>3</sup></p>
<p>Prisma triangular</p>		<p>Volumen= base(m) x longitud(m) x altura(m) x 0,5 = __m<sup>3</sup>                  Nota: la altura es la distancia perpendicular a la base del triángulo, no la longitud desde un lado de triángulo.</p>
<p>Prisma trapezoidal</p>		<p>Volumen= (base1 + base2)(m) x longitud(m) x altura(m) x 0,5 = __m<sup>3</sup></p>
<p>Pirámide triangular</p>		<p>Volumen= 0,17 x base(m) x altura 1(m) x altura 2(m) = __m<sup>3</sup>                  Nota: la altura1 es la distancia horizontal perpendicular a la base, no la longitud desde cualquier otro lado del triángulo. La altura 2 es la distancia perpendicular al plano de la base triangular.</p>
<p>Semiesfera o semielipsoide</p>		<p>Volumen= 2,1 x R1(m) x R2(m) x altura(m) = __m<sup>3</sup></p>
<p>Casquete esférico</p>		<p>Volumen= 0,52 x altura(m) x [3 x R<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>) + altura<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)] = __m<sup>3</sup>                  Nota: esta ecuación sirve para cúpulas con base aproximadamente circular, y cualquier altura.</p>

- [1] AENOR. *UNE-CEN/TS 14243:2012 EX. Materiales producidos a partir de neumáticos fuera de uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas.*
- [2] Atech Group. 2001. *A National Approach to Waste Tyres.* Departamento de Medio Ambiente de Australia.
- [3] Basel Convention. 1999. *Technical Guidelines on the Identification and Management of Used Tyres.* Suiza.
- [4] BSI. 2007. *PAS 108:2007. Specification for the production of tyre bales for use in construction.* Reino Unido.
- [5] CalRecycle Waste Evaluation and Enforcement Branch. 2015. *Waste tire math reference.*
- [6] Cano, E. Cerezo, L. Urbina M. 2007. *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. Informe de vigilancia tecnológica.* CIMTAN, CEIM y Comunidad de Madrid.
- [7] Castro, M. C. 2011. *Informe técnico sobre almacén de neumáticos en nave logística ubicada en polígono industrial S-11 de Fontanar (Guadalajara).*
- [8] CEDEX. 2013. *Ficha técnica Neumáticos fuera de uso (NFU).*
- [9] Consejo de la Unión Europea. 2006. *Decisión del Consejo, de 13 de marzo de 2006, por la que se modifican las Decisiones 2001/507/CE y 2001/509/CE con el objeto de conferir carácter obligatorio a los Reglamentos n° 109 y 108 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU) sobre neumáticos recauchutados (200/443/CE).*
- [10] Department of Environmental Protection of Pennsylvania. *General permit number WMGR038 Processing of Waste Tires for the Production of Tire Derived Material and Tire Derived Fuel.*

- [11] Díaz Mendoza, C. 2011. *Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización*. Ingeniería e Investigación, Vol. 31, N° 3 (80-90).
- [12] Environmental Engineering & Contracting. 2002. *Tire Pile Fires: Prevention, Response, Remediation*. Integrated Waste Management Board. California.
- [13] ETRMA. 2009. *Tyre Generic Exposure Scenario End of Life Tyre Guidance*. Bélgica.
- [14] Evans, A. R. 2006. *The composition of a Tyre: Typical Components*. The Waste & Resources Action Programme. Reino Unido.
- [15] FER. 2013. *Experiencia española del caucho NFU en las mezclas asfálticas*.
- [16] Junta de Andalucía. 2011. *Plan de Emergencia por Incendios Forestales de Andalucía (Plan INFOCA)*.
- [17] *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados y sus modificaciones*. Jefatura del Estado. España.
- [18] Manitoba Environment. 1994. *Guidelines for the storage of scrap tires in Manitoba*. Canada.
- [19] Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelanda. 2004. *End-of-Life Tyre Management: Storage Options. Final report for the Ministry for the Environment*. Nueva Zelanda.
- [20] Ministerio Federal de Agricultura, Bosques, Medio Ambiente y Gestión del Agua, Austria. 2007. *Anforderungen an die Zwischenlagerung von heizwertreichen Abfällen* (Requisitos para el almacenamiento temporal de residuos de alto poder calorífico).
- [21] New Hampshire Department of Environmental Services. 2013. *Best management practices for New Hampshire solid waste facilities. Scrap tires*.
- [22] New York State Department of Environmental Conservation. 2004. *New York State waste tire stockpile abatement plan*.
- [23] NFPA. 2013. No. 260-NFPA-13. *National Fire Protection Association Report*.
- [24] Ohio Environmental Protection Agency. *Approximations for measuring loose piles*.
- [25] Ohio Environmental Protection Agency. *Operation of scrap tire collection, storage and recovery facilities. Article 60 and 5. Chapter 27- solid waste and infectious waste regulations. 3745 Ohio Administrative Code*.
- [26] *Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios derogado por Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios*. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. España.
- [27] *Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y sus modificaciones*. Ministerio de Medio Ambiente. España.



- 
- [28] *Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se prueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales y sus modificaciones.* Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. España.
- [29] *Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso y sus modificaciones.* Ministerio de la Presidencia. España.
- [30] *Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España.
- [31] SIGNUS. 2015. *Memoria anual 2015.*
- [32] State Fire Marshall Nebraska. *Outdoor Storage of Scrap Rubber Tires.*
- [33] TNU. *Memoria Anual 2015.*
- [34] UNEP. 2011. *Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho.* Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Décima reunión. Cartagena (Colombia).
- [35] USEPA. 2006. *Scrap Tire Clean Up Guidebook. A Resource for Solid Waste Managers across the United States.*
- [36] Washington State Department of Health. 2017. *Investigation of Reported Cancer among Soccer Players in Washington State.*





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA Y PESCA,  
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Centro de Publicaciones  
P.º Infanta Isabel, 1  
28014 Madrid