

IHOBE

INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MADERA TRATADA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE
ANTOLAMENDU SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

ihobe*line*
900 15 08 64

Euskal Enpresarako Doako Ingurumen Argibide Zerbitzua
Servicio de Información Ambiental Gratuito para la Empresa Vasca

INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MADERA TRATADA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO



Edita:

IHOBE - Sociedad Pública de Gestión Ambiental

Diseño: Dual^{ki} - Comunicación & Diseño

Traducción: Elhuyar

© IHOBE 2005

Depósito Legal: BI-xxxx-05

En colaboración con LABEIN y CIDEMCO

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir parte alguna de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado –electrónico, mecánico, fotocopiado, grabación, etc.–, sin el permiso escrito del titular de los derechos de la propiedad intelectual y del editor.

Índice

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2. OBJETO Y ALCANCE | 5 |
| 3. COMPUESTOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE LA MADERA CONSUMIDA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO: USOS E INGREDIENTES ACTIVOS | 6 |
| 3.1 Colas y adhesivos..... | 6 |
| 3.2 Pinturas y barnices..... | 6 |
| 3.3 Productos protectores..... | 9 |
| 3.4 Productos retardantes del fuego..... | 12 |
| 4. IDENTIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE RESIDUOS DE MADERA TRATADA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO | 14 |
| 5. INVENTARIO DE RESIDUOS DE MADERA TRATADA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO | 17 |
| 5.1 Metodología adoptada en la elaboración del inventario..... | 17 |
| 5.2 Estimación y gestión de rechazos de madera tratada generados por la industria de la 2ª transformación de la madera..... | 17 |
| 5.3 Estimación y gestión de residuos de madera tratada con origen en actividades industriales, comerciales y municipales..... | 18 |
| 5.4 Elaboración del inventario de residuos de madera tratada de la Comunidad Autónoma del País Vasco (2004)..... | 21 |
| 6. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE MADERA TRATADA | 22 |
| 6.1 Recogida de muestras de residuos de madera tratada..... | 22 |
| 6.2 Caracterización química de los residuos de madera tratada: definición de parámetros..... | 25 |
| 6.3 Resultados del análisis químico de las diferentes muestras de residuos de madera tratada..... | 26 |
| 6.3.1 Análisis químico de retales procedentes de la fabricación de muebles..... | 26 |
| 6.3.2 Análisis químico de rechazos de pallets recién tratados..... | 26 |
| 6.3.3 Análisis químico de rechazos de madera tratada con sales..... | 27 |
| 6.3.4 Análisis químico de muebles y enseres de madera fuera de uso..... | 28 |
| 6.3.5 Análisis químico de elementos de carpintería de madera fuera de uso..... | 28 |
| 6.3.6 Análisis químico de envases y embalajes de madera fuera de uso..... | 30 |
| 6.3.7 Análisis químico de encofrados de madera fuera de uso..... | 30 |
| 6.3.8 Análisis químico de madera estructural fuera de uso..... | 30 |
| 6.3.9 Análisis químico de poste de madera fuera de uso..... | 30 |
| 6.3.10 Histórico de analítica de elementos de madera creosotada..... | 31 |
| 6.3.11 Conclusiones sobre la caracterización de residuos de madera tratada. Análisis desde la perspectiva de la Directiva 91/689/CEE relativa a residuos peligrosos..... | 32 |
| 7. CONSIDERACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE MADERA TRATADA | 34 |
| 7.1 Reutilización de residuos de madera tratada..... | 34 |
| 7.2 Reciclaje de residuos de madera tratada..... | 34 |
| 7.3 Valorización energética de residuos de madera tratada..... | 35 |
| 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁMBITO DE RESIDUOS DE MADERA TRATADA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO | 36 |

1 Introducción

Como consecuencia de la entrada en vigor, desde el 1 de enero de 2002, de la última versión del *Catálogo Europeo de Residuos (CER)*, se evidenció la aparición de corrientes residuales que se desdoblaban en dos entradas en función de si contenían, o no, sustancias peligrosas. Así, todos aquellos residuos que aparecen en el CER señalados con un asterisco se consideran residuos peligrosos de conformidad con la Directiva 91/689/CEE sobre residuos peligrosos a cuyas disposiciones quedan sujetos. Dicha clasificación CER supuso el tener que considerar como peligrosos diversos residuos que tradicionalmente se habían venido gestionando como no peligrosos.

Un ejemplo manifiesto de este nuevo enfoque, puede encontrarse en los residuos de madera. Diferentes capítulos del CER clasifican una misma corriente de residuos de madera en función de si contienen o no sustancias peligrosas (capítulos 03, 17 y 20 donde se mencionan residuos de madera). La aparición de sustancias peligrosas en la madera está íntimamente asociada a los tratamientos recibidos durante las diferentes etapas de transformación de la madera donde ésta es sometida a diferentes procesos al objeto de protegerla frente a organismos xilófagos (insectos, hongos, xilófagos marinos) u otros agentes abióticos (fotodegradación, fuego,...) que afecten a su durabilidad. En este contexto, dependiendo de los compuestos aplicados a lo largo de las diferentes etapas de transformación de la madera, ciertas tipologías de residuos de madera podrían suponer un riesgo potencial como consecuencia de una posible migración de cier-

tas sustancias a lo largo del tiempo, desde esta madera tratada hacia el medio circundante.

En el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco, la gestión de los residuos de madera se realiza, mayoritariamente, a través de pequeñas empresas dedicadas a la recogida y tratamiento de los mismos. La gestión realizada por tales empresas no obedece a criterio de clasificación alguno; más bien se tiene como objetivo, obtener un producto reciclado de calidad que sirva como materia prima al sector del tablero aglomerado. Por otro lado, aquellos residuos de peor calidad, con origen en diferentes actividades industriales y urbanas, se destinan a procesos de valorización energética como combustible alternativo.

La mayor parte de los residuos de madera se caracteriza por llevar asociado, en mayor o menor medida, tratamientos con sustancias peligrosas. Por ejemplo, algunos tipos de madera tratada pueden generar humos tóxicos si son incinerados, liberar partículas nocivas en el proceso de trituración o contaminar el suelo cuando el residuo permanece en un vertedero no aislado convenientemente. Surge la necesidad, por tanto, de establecer criterios para identificar aquellas corrientes de madera residual con mayor impacto sobre la salud humana y el medio ambiente, con el fin de analizar la idoneidad de las actuales prácticas de gestión de los residuos de madera, y en su defecto, estudiar alternativas de gestión que permitan eliminar o reducir hasta límites admisibles los riesgos asociados a dichos flujos residuales.

2 Objeto y alcance

El presente trabajo ha perseguido los siguientes objetivos:

- Establecer una categorización de residuos de madera tratada que facilite un estudio sistémico sobre el potencial de riesgo asociado a aquéllos.
- Estimar las cantidades asociadas a cada una de las categorías establecidas.
- Caracterizar los ingredientes activos asociados a los tratamientos de cada una de las categorías anteriores con el fin de obtener resultados de apoyo a la toma de decisiones sobre la gestión de residuos de madera tratada.
- Identificar posibilidades de gestión para cada una de las categorías anteriormente definidas, de acuerdo al potencial de riesgo asociado a estos ingredientes activos.

- Elaborar un documento técnico de apoyo a la Administración en el establecimiento de directrices sobre la gestión de ciertos flujos de madera residual.

El presente estudio se ha centrado en tipologías residuales asociadas a la industria de la segunda transformación de la madera donde se utilizan compuestos químicos por motivos tales como:

- Protección de la madera contra xilófagos y agentes abióticos.
- Decoración y recubrimiento de la madera.
- Conformado y unión de elementos de madera.

El apartado siguiente ampliará el conocimiento sobre las sustancias químicas o ingredientes activos asociados a los diferentes tratamientos de la madera.

3 Compuestos utilizados en el tratamiento de la madera consumida en la Comunidad Autónoma del País Vasco: Usos e ingredientes activos

Este apartado recoge información sobre los compuestos químicos asociados a diferentes tratamientos utilizados históricamente en la industria de la madera. El conocimiento recogido en este apartado constituirá la base sobre la que articular la caracterización de los residuos de madera tratada. Asimismo, de la lectura de los sucesivos párrafos se puede intuir qué tipo de tratamientos llevan asociado mayor riesgo asociado a los compuestos químicos empleados a lo largo del tiempo.

Los tratamientos que se aplican a la madera se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Colas y adhesivos
- Pinturas y barnices
- Productos protectores
- Productos retardantes del fuego

3.1 Colas y adhesivos

Las colas y adhesivos se utilizan en el ensamblaje y unión de elementos de madera tales como tableros de partículas, muebles o elementos de carpintería. Los diferentes ingredientes activos correspondientes a esta aplicación son los siguientes:

• Colas termofusibles

Las colas termofusibles son utilizadas principalmente como adhesivo en los procesos de chapeado o canteados de tableros y aglomerados. Las colas termofusibles funden con la aplicación de calor.

• Colas en dispersión acuosa

Las colas en dispersión acuosa son utilizadas principalmente como adhesivo en los procesos de ensamblaje de piezas. Son adhesivas generalmente a base de un polímero vinílico modificado y de baja viscosidad. No contienen sustancias clasificadas como peligrosas.

• Colas en base disolvente

Las colas en base disolvente son utilizadas principalmente como adhesivo en los procesos de ensamblaje de piezas o tableros. Estas colas son mezclas de resinas (por ejemplo: urea-formol) y disolventes y suelen contener, entre otras sustancias peligrosas: tolueno, butanona, metililcerona, hidrocarburos alifáticos y naflénicos, metanol, formaldehído, etc.

3.2 Pinturas y barnices

Alrededor de 1900, los fabricantes de pinturas empezaron a emplear compuestos químicos tratando de hallar el modo de producir pinturas y barnices realmente de buena calidad.

Desde aquellos primeros días del siglo XX la historia de la industria de la pintura ha ido en constante y acelerado crecimiento en tecnología, así como en la cantidad de los artículos vendidos. Una gran cantidad de las nuevas materias primas introducidas se tratarán en los próximos capítulos. Cierta número de recubrimientos de superficies tales como las lacas, que eran virtualmente desconocidas hace 50 años, se producen ahora en grandes cantidades. Las pinturas modernas están muy por encima de aquellas fabricadas a principio de siglo en cuanto a calidad y comportamiento.

Propiedades de las materias primas

Los ingredientes de los recubrimientos de superficies se conocen en la industria de la pintura como «materias primas», aunque estén lejos de serlo en un sentido estricto. Muchos de ellos son naturales, y se emplean sin cambios químicos, pero deben lavarse, molerse, filtrarse, combinarse o ser sometidos a otros procesos para darles las propiedades necesarias y la uniformidad requerida. Algunas de las denominadas materias primas se fabrican mediante largos y costosos procesos químicos y físicos que requieren grandes inversiones e instalaciones de plantas y equipos.

Existen miles de materiales patentados en cientos de clases de compuestos químicos, que los fabricantes de pinturas compran a los proveedores de materias primas. La valoración detallada de las materias primas existentes para determinar sus propiedades particulares y el empleo de cada una de ellas, es una de las funciones más importantes en los laboratorios de desarrollo de las fábricas de recubrimientos de superficies.

Las materias primas se pueden dividir en las cuatro clases fundamentales siguientes: pigmentos, disolventes, aglutinantes y aditivos.

- Los **pigmentos** son sólidos finamente divididos de diversos colores utilizados para proporcionar el color, poder cubriente, consistencia, cuerpo, duración y otras propiedades a los recubrimientos de superficies.

- Los **aglutinantes** son aceites, resinas y plastificantes, que contribuyen a la formación de la película protectora. También se les denomina formadores de película, ligantes, vehículos sólidos o vehículos no volátiles. La palabra «vehículo» se refiere a toda la parte líquida de los recubrimientos de superficies, sean volátiles o no.
- Los **disolventes** también llamados diluyentes y volátiles, son líquidos que se añaden a la mayoría de los recubrimientos de superficies para hacerlos lo suficientemente fluidos para una aplicación apropiada. Los disolventes se evaporan dejando un residuo de pigmentos y aglomerantes que forman las películas decorativas y protectoras mediante diferentes procesos de secado y endurecimiento.
- Los **aditivos** son materiales empleados, por regla general, en pequeñas proporciones para modificar las características generales de diferentes maneras.

Se aborda a continuación, la descripción y composición de los pigmentos, aglutinantes, volátiles, disolventes y aditivos.

Pigmentos

Las principales propiedades de los pigmentos son las siguientes: color básico, efecto sobre la viscosidad del vehículo, color secundario, brillo, intensidad, índice volumétrico o factor de abultamiento, poder cubriente, fluidez y homogeneidad, forma de la partícula, sangrado, distribución del tamaño de partícula, estabilidad al calor, a la luz, a la humedad, a los agentes químicos y atmosféricos y dispersabilidad. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Pigmentos blancos**
Abarca los pigmentos de dióxido de titanio, óxido de cinc, sulfuro de cinc, óxido de antimonio, carbonato básico de plomo, sulfato básico de plomo y las cargas blancas.
- **Pigmentos negros y grises**
Los negros de carbón y de óxidos de hierro, plomo azul sublimado, negros minerales y emplastecedores grises.
- **Pigmentos azules y verdes**
Azules de hierro, verdes de cromo, azules y verdes de ftalocianina, azules indantreno, azules de ultramar, óxidos de cromo y pigmento verde B.
- **Pigmentos amarillos y naranja**
Óxido de hierro, amarillo de cromo, cinc, cadmio y orgánicos, así como pigmentos naranja, incluyendo los modernos pigmentos inalterables a la luz.
- **Pigmentos rojos, marrones y morados**
Óxido de hierro, pigmentos inorgánicos de cadmio, cobre y plomo, orgánicos litol, rojo-para, toluidina-BON, pirazolona, alizarina, y los modernos y sólidos pigmentos rojos, marrones y violetas para tintes.
- **Polvos y escamas metálicos**
Abarca los polvos y escamas de aluminio, de cobre, de cinc y de bronce.
- **Diversos pigmentos especiales**
Los pigmentos fluorescentes, luminosos, nacarados y otros pigmentos especiales.

Aglutinantes

La palabra «plastificar» es difícil de definir, pero generalmente, significa hacer más flexible o más dúctil, o mejorar las características de la película de algún otro modo. Existen aceites secantes duros, tales como el de tung, que necesitan generalmente aceites suaves como plastificantes. Los aceites no secantes y las resinas blandas, también actúan como plastificantes, y deben usarse con los formadores de película que proporcionen dureza. Los llamados plastificantes químicos, son otra clase de materiales, que, aunque no son estrictamente formadores de película, ya que no secan cuando se usan solos, permanecen en las películas y tienen una influencia importante en sus propiedades.

- **Aceites naturales y elaborados**
Los aceites de soja, ricino, cacahuete, tung, oiticica y los aceites de pescado.
- **Resinas alquídicas**
Alquidas puras fabricadas a partir de aceites secantes, semisecantes o no secantes, del ftalato de glicerina, ftalato de pentaeritritol, resinas no oftálicas y resinas alquídicas modificadas.
- **Resinas amínicas**
Resinas de formaldehído de urea y formaldehído de melamina.
- **Derivados de la colofonia**
La colofonia y de sus derivados, tales como jabones de calcio, bario y cinc, ésteres de resina, etc.
- **Resinas fenólicas**
Las resinas fenólicas, tales como los tipos termoplásticos solubles en aceite, los termoestables solubles en aceite, termoestables sin aceite y los tipos de dispersión.
- **Derivados de la celulosa**
Nitrato de celulosa, acetato, acetato-butirato y celulosa etilica y metilica, etc.
- **Resinas tipo vinilo**
Polímeros de cloruro de vinilo, cloruro de vinilideno, acetato de vinilo, alcohol vinílico, vinilbutiral, acrilonitrilo, ésteres acrílicos, caucho natural, neopreno, estireno, butadieno, viniltolueno, divinilbenceno y etileno.
- **Resinas-epoxi**
Las resinas epoxídicas y sus reacciones con los ácidos grasos, aminas, poliamidas, resinas fenólicas y aminoresinas.

- **Resinas de poliuretano**
Los aceites de uretano, mezclas de poliisocianato-poliol, e isocianatos bloqueados, prepolímeros que curan con la humedad y los que curan con aminas.
- **Resinas diversas: tipos antiguos**
Resinas naturales, goma laca, asfaltos y breas, resinas de indeno-cumarona, resinas de petróleo, proteínas, resinas de terpenos, almidón, parafina clorada y ceras.
- **Resinas diversas: tipos modernos**
Siliconas, polietilenos, polietileno clorosulfonado, poliésteres, poliamidas, polisulfuros, bifenilos clorados, sulfonamida-formaldehído.

Disolventes

Los disolventes volátiles utilizados para reducir los componentes no volátiles a la viscosidad adecuada de aplicación son el tercer grupo fundamental de componentes de los recubrimientos de superficies. Aunque no permanecen en las películas una vez secos, son necesarios para el proceso de aplicación de las mismas. Una vez secos, exhibirán uniformidad en el espesor de la película y carencia de irregularidades en su superficie.

En los recubrimientos de superficie se emplea un gran número de disolventes diferentes, muchos de ellos en diversas calidades para satisfacer las necesidades de la amplia escala de recubrimientos de superficies fabricados.

- **Disolventes para limpieza**
Los disolventes usados para operaciones de limpieza suelen ser mezclas de diferentes disolventes orgánicos, en algunos casos procedentes de disolventes reciclados. Entre sus componentes suelen aparecer las siguientes *sustancias peligrosas*: tolueno, acetona, metil-etil-acetona, metil-isobutil-cetona, xileno, metanol, etil-benceno, acetato de metilo, etc.
- **Disolventes orgánicos**
Los disolventes o diluyentes están compuestos por mezclas de diferentes disolventes orgánicos. Se utilizan para la dilución de pinturas y barnices. Sus principales componentes pueden ser, entre otros: tolueno, butanona, estireno monomero estabilizado, acetona, metil-etil-cetona, metil-isobutil-cetona, xileno, metanol, etil-benceno, acetato de metilo, etc.
- **Barniz poliacrílico**
Los barnices poliacrílicos, usados como recubrimientos en la madera, suelen ser mezclas de diferentes resinas acrílicas, diluidas en medio acuoso o disolvente. Éstas pueden contener, entre otras sustancias peligrosas: disolución metil-etil-cetona, acetato de etilo, acetato de butilo y soluciones de tolueno, tricloroetano, xileno, etc. Las resinas acrílicas, en general, evaporan.
- **Barniz poliuretano**
Los barnices de poliuretano, empleados como recubrimientos en la madera, suelen ser mezclas de diferentes resinas de poliuretano diluidas en medio acuoso o disolvente. Estas últimas pueden contener, entre otras

sustancias peligrosas, metil-etil-cetona, acetato de etilo, acetato de butilo y soluciones de tolueno, tricloroetano, xileno, etc.

- **Barniz poliéster**
Los barnices de poliéster son usados como recubrimientos en la madera. Suelen ser mezclas de diferentes resinas de poliéster diluidas en medio acuoso o disolvente. Estas últimas pueden contener, entre otras sustancias peligrosas: estireno, acetato de butilo, tolueno, nafta, etc.
- **Barniz en base acuosa**
Los barnices en base acuosa son usados como recubrimientos en la madera. Son mezclas de diferentes resinas, con una base acuosa, y entre sus principales sustancias peligrosas pueden aparecer: butiglicol, etanol, flalato de dibutilo, metil-isociatolin-ona, etc.
- **Tintes base agua**
Los tintes se utilizan para tinter o entonar la madera; pueden ser en base disolvente o acuosa. Estos últimos son mezclas de diferentes sustancias, algunas peligrosas tales como alcohol-isopropílico, etanol y algunos colorantes peligrosos. Todo ello en una base de agua. Se pueden utilizar para pintar entre capas.
- **Tintes base disolvente**
Los tintes en base disolvente se utilizan para entonar la madera, tanto en fondos como en acabados. Están compuestos por colorantes diluidos en grandes concentraciones de disolventes orgánicos. Algunas de las sustancias peligrosas que pueden aparecer en sus formulaciones son: cloruro de metileno, metoxi-propanol, tolueno, acetona, metanol, alcohol tetrahidrofurfurílico, etc.
- **Retardantes**
Los retardantes son una mezcla de disolventes orgánicos, más otras sustancias utilizadas para retrasar la autoignición del producto una vez curado. Entre las sustancias peligrosas que los componen pueden aparecer: acetato de metoxipropilo, tolueno, xileno, metanol, etc.
- **Acelerantes**
Los acelerantes son mezclas de disolventes orgánicos y otros compuestos químicos, utilizados para acelerar el proceso de recubrimiento de la madera. Utilizan, entre otras sustancias peligrosas: acetato de vinilo, tolueno, acetato de butilo, disocianato de tolueno, nafta, etc.
- **Decapantes**
Los decapantes son productos utilizados para eliminar restos de barnices y pinturas una vez han sido ya aplicados sobre su soporte. Suelen ser mezclas de disolventes, con un pequeño porcentaje en resinas. Entre las sustancias peligrosas que los componen podemos distinguir, entre otras: cloruro de metileno, acetato de etilo, alcohol metílico, tolueno, poliaminoamida, xileno, etc.
- **Glaseadores y difuminadores**
Sirven para dar aspecto de envejecimiento a la madera o realzar muebles de madera nobles. Entre las sustan-

cias peligrosas que los componen pueden figurar, entre otros: acetona, tolueno, acetato de metilo, metiletilcetona, metanol, metoxipropanol, nafta, etc.

- **Pátinas**

Las pátinas son productos utilizados como agentes decorativos en los muebles o parte de ellos, realzan la veta de la madera y están compuestos por mezclas de colorantes orgánicos con vehículos filmógenos diluidos en una mezcla de disolventes. En la actualidad existen en el mercado algunas pátinas diluidas en base acuosa. Entre otras sustancias peligrosas pueden contener: metiletilcetona, acetona, etc.

- **Ceras**

Las ceras son productos utilizados para nutrir y dar un brillo especial a la madera; se utilizan en algunos casos como acabado final y pueden ser naturales o sintéticas. Las ceras naturales provenientes de las abejas se mezclan con pigmentos naturales para darles color, y en el caso de ceras sintéticas se fabrican a base de mezclar diferentes productos sintéticos con distintas sustancias peligrosas, entre otras: acetona, acetato de butilo, metilmetilcetona, tolueno, metanol, xileno, etc.

- **Lacas base disolvente**

Las lacas son productos utilizados como recubrimiento de acabado en la madera; una de sus cualidades principales es la de respetar el relieve y la textura natural de la veta. Están compuestas por mezclas de resinas nitrocelulósicas y otras sustancias, algunas de ellas peligrosas, como: metanol, formaldehído, tolueno, xileno, flalato de dialilo, etc.

- **Lacas base acuosa**

Las lacas en base acuosa son productos utilizados como recubrimiento de acabado en la madera; una de sus cualidades principales es la de respetar el relieve y la textura natural de la veta. Están compuestas por mezclas de resinas nitrocelulósicas y otras sustancias, algunas de ellas peligrosas como: etanol, flalato de dibutilo, metil-isociatolin-ona, etc.

- **Catalizadores**

Son productos utilizados para mejorar el rendimiento de una reacción química; es un producto que se sirve junto al barniz para potenciar su endurecimiento. Entre otras sustancias peligrosas puede contener: disocianato de tolueno, tolueno, acetato de etilo, peróxido de metiletilcetona, acetona, flalato de metiletilcetona, hidropéroxido de terbutilo, etc.

- **Masillas**

Las masillas son productos utilizados para rellenar posibles desperfectos, grietas o nudos de la madera. Se comercializan en múltiples variedades y con infinidad de formulaciones diferentes. Las hay en base acuosa y en base disolvente; estas últimas pueden contener, entre otras sustancias peligrosas: acetona, metilmetilcetona, tolueno, xileno, etc.

Aditivos

A los recubrimientos de superficies se añaden diversos materiales utilizados en pequeños porcentajes para desempeñar ciertas funciones específicas no cumplidas por los ingredientes principales: pigmentos, formadores de película y disolventes: aditivos para la dispersión, agentes *anti-flooding*, y *antifloating*, favorecedores de la suspensión de los pigmentos, aditivos para aumentar o disminuir la viscosidad y la fluidez, para disminuir el brillo y la pérdida de secante, inhibidores de formación de pieles y fungicidas.

3.3 Productos protectores

Se definen los protectores de la madera, como soluciones de sustancias químicas que, empleadas aisladamente o en combinación, proporcionan a las piezas de madera, sobre las que se aplican, una mayor resistencia frente a la acción negativa de agentes bióticos y xilófagos. En ocasiones, a las características biocidas se adicionan otras de mejora o protección frente a determinados agentes climáticos.

En la composición de un protector, se debe diferenciar:

- **Disolvente.** Agentes que sirven como vehículo para introducir las materias activas y coadyuvantes en la madera, una vez disueltas en ellos.
- **Materias activas.** Elementos químicos con características biocidas sobre insectos, hongos, xilófagos marinos, etc.
- **Coadyuvantes.** Productos químicos que refuerzan la acción de los principios activos aumentando la efectividad del protector, bien directamente o mediante un incremento de su actividad frente a agentes de origen abiótico.

Los distintos compuestos químicos que se deseen considerar productos protectores de la madera habrán de superar una serie de ensayos, que pongan de manifiesto sus características como biocidas.

El establecimiento de la eficacia de un protector, supone la determinación previa de los siguientes valores:

- **Valor de eficacia:** Cantidad mínima del protector que proporciona una adecuada protección a la madera impregnada frente a un determinado agente biótico de deterioro. Es un valor de referencia biológica.
- **Valor límite máximo aceptable:** El resultado del ensayo de un protector se considera aceptable, si los valores de eficacia son inferiores a un valor límite denominado valor límite máximo aceptable.
- **Valor crítico:** Cantidad mínima de producto necesaria para ser eficaz en una determinada clase de riesgo de la madera (considerando todo tipo de agentes bióticos de deterioro).

Estos valores se expresan en g/m² o en kg/m³.

De todo lo expuesto, se pueden definir los productos químicos protectores como "solución de materias activas con características biocidas", no integrándose por tanto en esta definición las pinturas y barnices de uso normal.

El deseo de proteger la madera de sus diversos agentes de deterioro es ya muy antiguo, habiéndose empleado muchos productos a lo largo del tiempo; sin embargo no es hasta el presente siglo, realmente, cuando se ha logrado dicho empeño con cierta efectividad.

Los protectores químicos de la madera se han clasificados atendiendo a su naturaleza química.

Protectores hidrodispersables

Son mezclas de principios activos no hidrosolubles a los que se añade un emulgente, para lograr una buena dispersión en el agua, conociéndose vulgarmente como "emulsiones". Son tratamientos superficiales.

Productos Registrados en el Ministerio de Sanidad y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación:

- **TCMTB: Fungicida Familia de los derivados cianurados**
Mirecide – TC/45.
Protector antiazulado hidrodispersable.
- **TCMTB: Fungicida Familia de los derivados cianurados**
Mirecide – TM/67.
Protector antiazulado hidrosoluble / hidrodispersable.
Metileno bis tiocianato: fungicida.
Familia: Amonios cuaternarios contra el azulado.
- **TCMTB: Fungicida Familia de los derivados cianurados**
FKR 20.
Solución hidrodispersable.
- **MTC: Fungicida Familia de los derivados cianurados**
FKR 1010
Solución hidrodispersable.
Metileno bistiocianato: fungicida de la familia de los derivados cianurados.
- **TCMTB: Fungicida Familia de los derivados cianurados**

Protectores orgánicos naturales

• Creosotas

En su composición aparecen:

- *Alquitranes ácidos*: fenol, cresol, xilenol, naftol, etc.
- *Alquitranes básicos*: piridinas, quinolinas, acridinas, etc.
- *Alquitranes neutros*: antraceno, benceno, naftaleno, etc.

A pesar de que normalmente las creosotas se emplean solas, también se han utilizado en mezclas como con:

- Con petróleo al 50% (↑ la penetración en la madera)
- Con borax y ácido bórico (↑ el grado de retarde de combustión)
- Con piretroides (↑ eficacia frente a xilófagos marinos)
- Con PCP (↑ poder fungicida)
- Carbolineum + aceite de antraceno
- Carbolineum + sales de Cu
- Con As_2O_3 o con lindano

Protectores hidrosolubles

• Sales

Por la importancia histórica que tuvieron se pueden citar:

- Cloruro de mercurio (empleado hasta 1967)
- Sulfato de cobre (se dejó de utilizar)
- Cloruro de cinc (se dejó de utilizar)

Actualmente se sigue la siguiente clasificación de sales:

• Protectores de arsénico

De **As y Cu** (Arsenito de cobre amoniaco o ACA)

- La especificación más empleada es:
- | | |
|-----------------|--------|
| As_2O_5 | 50,20% |
| CuO | 49,80% |

Existen otras con As_2O_3 y $Cu(OH)_2$
Producto comercial más común → *Chemonite*

De **As, Cu y Cr** (Arseniato de cobre cromado o CCA)

- As → insecticida.
 - Cu → fungicida.
 - Cr → fijador de los anteriores.
 - La formulación estándar es:
- | | |
|-----------------------------|--------|
| $As_2O_5 \cdot 5H_2O$ | 50,20% |
| $SO_4Cu \cdot 2H_2O$ | 49,80% |
| $C_2Cr_2O_7$ | 11% |
- Productos comerciales más conocido → *Tanalith C, Greensalt, Erdalith, Boliden K33, Celcure A, etc...*

De **As, F, Cr y Dinitrofenol**

- Presenta una formulación:
- | | |
|-------------------|-----|
| Sal de fluor..... | 22% |
| Dinitrofenol..... | 16% |
| Sal de cromo..... | 37% |
| Sal de As..... | 25% |

• Protectores de cobre

De **Cu y Cr** (Acido de cobre cromado; ACC)

- Las especificaciones más empleadas son:

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| CuO | 32% |
| CrO ₃ | 68% |
| SO ₄ Cu*5H ₂ O | 50% |
| Cr ₂ O ₇ Na ₂ *2H ₂ O | 48,3% |
| CrO ₃ | 1,7% |

Producto comercial más común → *Celcure*

• Protectores de cinc

De **Zn y Cr** (Cloruro de cinc cromado; CZC)

- Las especificaciones más empleadas son:

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| CrO ₃ | 20% |
| Cl ₂ Zn | 80% |
| Cr ₂ O ₇ Na ₂ 2H ₂ O | 18,5% |
| Cl ₃ Zn | 81,5% |

Producto comercial más conocido → *Dichrosite*

• Protectores de boro

Las especificaciones son: ácido bórico y bórax (*tetraborato sódico*).

Productos comerciales más conocidos → *Timbor*, *Boracol*.

El *B* tiende a sustituir al *As* en los protectores químicos de la madera.

Estos productos se están empleando solos o bien mezclados con pentaclorofenato sódico, captanol, benlate, etc.

Además de en solución líquida este tipo de protectores se emplea de las formas siguientes:

- Boratos en solución de glicol, para la protección de postes
- Boratos de cinc, en tableros

• Protectores de cromo

De forma general no se considera como grupo separado de los anteriores dada la presencia del Cr en la gran mayoría de los protectores hidrosolubles.

• Protectores de capa

Aplicados superficialmente. Para madera de cierta sección.

Como productos comerciales: → *Piromars*, *Xylaflam B*, *Interdens antinflam*.

• Protectores totales

Aplicados en profundidad.

Los principales elementos químicos: → *Bórax y ácido bórico, Cl₂Zn, sulfatos y fosfatos amónicos, productos de antimonio, etc.*

Entre los productos comerciales:

- Basilith triple* (insecticidas, fungicidas y retardantes)
- Criptogil*
- Dricom* (sales orgánicas e inorgánicas)
- Minalith* (bórax (10%), ácido bórico (20%), sulfato amónico (60%) y fosfato ácido amónico (10%))
- Nan.Com Exterior* (sales)
- Pyresote* (ácido bórico, cloruro de cinc y sulfato amónico)

• Protectores preventivos temporales

Antiazulados.

Protectores en disolvente orgánico

• Compuestos nitrados

Se basan en la nitruración de ciertos productos, tales como fenol, cresol, naftol, etc. (alquitranes ácidos).

Los de mayor uso:

- Dinitrofenol*
- Dinitrocresol*
- Dinitrifonato sódico*

• Fenoles clorados

Cloración de fenoles:

- Triclorofenol
- Tetraclorofenol
- Pentaclorofenol

Como productos derivados del pentaclorofenol:

- Tetraclorofenato de cinc (En tableros de fibras y aglomerados)
- Pentaclorofenato de cobre
- Pentaclorofenato sódico

• Naftalenos clorados

Obtenidos mediante cloración de naftalenos.

Se citan:

- Monocloronaftaleno
- Dicloronaftaleno
- Tricloronaftaleno

Como productos comerciales: *Xylamon*, *Halowak*, etc.

• Bencenos clorados

Cabe destacar:

- Diclorobenceno
- Triclorobenceno
- Lindano
- Dieldrin
- Clordano
- Aldrin
- DDT

- **Organomercuriales**

Compuestos de fenil y etil mercurio.

- **Naftenatos metálicos**

Se emplean los de Cu y Zn:

- Naftenato de cobre: *Cuprinol, Oborex, etc.*
- Naftenato de Cinc.
- Otros naftenatos: los de Hg, Fe, Ba, etc.

- **Compuestos organoestañosos**

Se incluyen en este grupo aquellos, que contienen Sn, Si y Pb.

Los productos más conocidos son trifenílicos de estaño o plomo y trialquílicos de estaño.

- **Compuestos estañotributílicos**

El de mayor empleo es:

- Dióxido de tributilo estañado (TBTO).

- **Compuestos organonitrogenados**

Amonios cuaternarios: compuestos de alquil amonio (AAC).

La actividad biológica está asociada con un grupo aniónico (Cl, Br, etc.) y el catión NH_4^+ . Se aplican a la madera mediante procesos de autoclave con presión. Aumentan su efectividad con la adición de sales de cobre. Los compuestos de amonio cuaternario combinados con ésteres de boro muestran una eficacia semejante a las sales CCA.

3.4 Productos retardantes del fuego

Los protectores tienen como objetivo evitar que la madera arda, retrasando el momento de la ignición. Es por

ello que se deben denominar retardantes del fuego y no ignífugos, que es el nombre por el cual se los conoce vulgarmente.

Para comprender la forma de actuación de estos protectores, es de gran interés el conocer cual es el comportamiento de la madera frente a un foco calorífico.

La madera presenta una baja conductividad térmica, lo que unido a su alto calor específico, hace que la pirólisis que acompaña a los procesos de combustión, se desarrolle tan sólo en zonas superficiales, inicialmente. Esto da lugar a formación de una capa carbonosa superficial, con una conductividad térmica baja.

La combustibilidad de un material está directamente relacionada con su poder calorífico siendo el de la madera alto, superior a las 4.000 cal/g, mientras que la resina alcanza las 9.000, por ello que las maderas se clasifican como M.3 ó M.4 (mediana o fácilmente inflamables).

Entre las diversas formas que existen para variar el grado de reacción al fuego de un material, se citan:

- Formación de una pantalla protectora de baja conductividad térmica que retrase los fenómenos de la pirólisis.
- Formación de gases incombustibles que impidan o dificulten el contacto del oxígeno con la madera.
- Catálisis que modifique las reacciones de combustión, orientándolas hacia la formación de compuestos menos peligrosos cara a la propagación de las llamas en la madera.

De lo citado, se conoce que la madera, aún cuando tiene buena resistencia al fuego, presenta una baja reacción a éste considerándose como material fácil o medianamente inflamable según especies. En la actualidad, los protectores retardantes del fuego, pueden lograr que pase de M.3, M.4 a M.1, M.2.



Los productos retardantes del fuego más empleados son los siguientes:

1. Fosfato de sodio monobásico
2. Fosfato sodio
3. Hexametáfosfato sódico
4. Pirofosfato sódico
5. Fosfato amónico (dibásico)
6. Tripolifosfato sódico
7. Ácido ortofosfórico
8. Sulfato de aluminio
9. Sulfato de zinc
10. Sulfato amónico
11. Bisulfato amónico
12. Tiosulfato sódico
13. Trisodio fosfato
14. Persulfato amónico
15. Sulfato sódico
16. Bisulfato sódico
17. Persulfato potásico
18. Bisulfito sódico
19. Metabisulfito sódico
20. Cloruro de hidroxilamonio
21. Cloruro de zinc
22. Cloruro de calcio anhidro
23. Cloruro amónico
24. Cloruro de aluminio
25. Cloruro de magnesio
26. Ioduro potásico
27. Bromuro potásico
28. Carbonato de calcio
29. Bicarbonato potásico
30. Hidróxido cálcico
31. Hidróxido de aluminio
32. Nitrato de amonio
33. Nitrato potásico
34. Ácido bórico
35. Tiocianato de amonio
36. Tetraborato de sodio
37. Perborato sódico
38. Polietilenimina
39. Cloruro de tetrametilamonio
40. Cloruro de tetrakis(hidroximetil) fósforo
41. Diclorometano
42. Sulfato potásico
43. Fluoruro de potasio
44. Fluoruro de amonio
45. Bromuro de amonio
46. Monofosfato de guanilurea
47. Epiclorhidrina
48. Pentaclorofenol
49. Siclor 98 PM
50. Siclor 40 FL
51. Martinal ON
52. Martinal ON-320
53. Óxido de decabromodifenilo
54. Silicato sódico
55. Flamebar S3
56. Flamebar ACE 6
57. Pirovatex CP
58. Protecflam
59. Basilit triple
60. Flacavon AZ
61. Fosfatos
62. Preflam C
63. Ignifugante CO
64. Ignifugante PB-extra
65. Ignifugante AP
66. Silicato sódico
67. Resina de urea
68. Resina de melamina

4 Identificación de categorías de residuos de madera tratada en la Comunidad Autónoma del País Vasco

Esta tarea ha tenido como finalidad analizar diversas categorías de residuos de madera tratada presentes en la Comunidad Autónoma del País Vasco, estableciendo aquéllas que presentan mayor relevancia en relación con su procedencia y con los tratamientos químicos recibidos (en su origen o en su utilización) para su mantenimiento en el tiempo (protección frente a agentes xilófagos y agentes abióticos) o con otros fines (decorativos, por ejemplo).

El establecimiento de las diversas categorías se ha planteado atendiendo al foco generador del residuo. Este

planteamiento está íntimamente ligado con su código LER (CER). A partir de ahí, se han definido sub-categorías teniendo en cuenta los diferentes usos, morfologías, o tratamientos empleados. Todo ello, en aras de obtener el mayor grado de conocimiento sobre el potencial de riesgo de los residuos de madera tratada. Por otro lado, es importante tener en cuenta el período transcurrido desde la impregnación de la madera hasta que ésta se convierte en residuo. En este sentido, el enfoque propuesto ha distinguido aquellos flujos residuales procedentes de *rechazos de actividades ligadas a la segunda transformación de la madera, de aquellos elementos de madera tratada*

Tabla 1: Clasificación de los residuos de madera tratada.

| CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE MADERA TRATADA | | CÓDIGO CER | PROPIEDAD DEL RESIDUO |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------|
| CATEGORÍA | SUB-CATEGORÍA | | |
| RESIDUOS PROCEDENTES DE RECHAZOS DE FABRICACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LA 2ª TRANSFORMACIÓN | | | |
| Recortes de la segunda transformación de la madera | Recortes con procedencia en la industria del mueble | 03 01 04* | Empresas del mueble |
| | Recortes con procedencia en otras actividades | 03 01 04* | Según actividad |
| RESIDUOS DE PRODUCTOS INDUSTRIALES O URBANOS FUERA DE USO | | | |
| Residuos Voluminosos | Muebles y enseres fuera de uso | 20 01 37* | Municipios/Garbiker/Mancomunidades |
| | ⁽¹⁾ Elementos de carpintería (marcos, ventanas, tarimas,...) | 20 01 37* | Municipios/Garbiker/Mancomunidades |
| | ⁽²⁾ Envases y embalajes | 20 01 37* | Municipios/Garbiker/Mancomunidades |
| ⁽²⁾ Envases y embalajes | Envases pintados | 15 01 03 | Todos los sectores de la economía |
| | Envases sin pintar | | |
| Residuos de Construcción y Demolición | Encofrados fuera de uso | 17 02 04* | Constructoras |
| | Madera estructural | 17 02 04* | Empresas de demolición |
| | ⁽¹⁾ Elementos de carpintería (marcos, ventanas, tarimas,...) | 17 02 04* | Empresas de demolición |
| Traviesas | - | 20 01 37* | Renfe/Feve/Euskotren |
| Postes de redes eléctricas y telefónicas | - | 20 01 37* | Iberdrola/Telefónica/Particulares |
| Elementos urbanos o paisajísticos | - | 20 01 37* | Municipios/Particulares |

(1) Se contempla como una misma categoría con dos procedencias diferentes.

(2) Se contempla como una misma categoría con dos procedencias diferentes.

fuera de uso una vez finalizan su vida útil. En el caso de los rechazos industriales, el corto período transcurrido desde la aplicación en la madera de los agentes activos hasta la generación del residuo puede implicar un mayor potencial de riesgo; más si cabe, cuando se opte por opciones de gestión menos preferentes tales como la incineración tradicional o la deposición en vertedero.



Fig 1: Recortes de la industria de la segunda transformación de la madera.



Fig 2: Muebles fuera de uso.



Fig 3: Carpintería de madera.



Fig 4: Envases y embalajes.



Fig 5: Madera con origen en residuos de construcción y demolición.



Fig 6: Traviesas de madera fuera de uso.



Fig 7: Postes telefónicos.



Fig 8: Elementos paisajísticos.

5 Inventario de residuos de madera tratada en la Comunidad Autónoma del País Vasco

Esta tarea ha tenido como objetivo estimar las cantidades de los residuos de madera tratada generados en la Comunidad Autónoma del País Vasco durante el año 2004, así como analizar la gestión actual de aquéllos, de acuerdo a la clasificación definida en el apartado anterior.

El estudio de cantidades y gestión actual de los rechazos de madera tratada ligados a actividades de la segunda transformación se ha abordado a partir de un exhaustivo análisis del sector en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

5.1 Metodología adoptada en la elaboración del inventario

La metodología adoptada en la elaboración del inventario ha consistido en analizar información sobre residuos de madera facilitada por diferentes entidades gestoras, así como en realizar trabajo de campo orientado a depurar incertidumbres sobre composición y formas de gestión actual de ciertos flujos residuales.

Para la elaboración del inventario, se han realizado los siguientes trabajos:

- Estudio de las principales industrias de transformación de la madera al objeto de identificar aquellos sectores que mayor impacto presentan en la generación de rechazos de madera tratada, bien sea por el volumen originado, bien por los tratamientos asociados.
- Contactos con determinadas empresas del sector al objeto de recoger datos sobre volúmenes de rechazos generados y gestión de los mismos.
- Análisis de los principales gestores de residuos de madera en la Comunidad Autónoma del País Vasco (privados y públicos).
- Recogida de datos de cantidades de residuos de madera tratada (según la clasificación establecida en la Tarea I) generadas en el año 2004 mediante entrevistas telefónicas o formularios dirigidos. Dado que la gestión actual de los residuos de madera se basa, no tanto en una diferenciación por tipologías, sino en una separación por calidad del residuo, ha sido necesario realizar trabajos de campo dirigidos a profundizar en la composición de algunas de las categorías establecidas.
- Cálculo estimativo de cantidades a partir de la información recogida.

- Elaboración del inventario de cantidades y gestión de residuos de madera tratada a partir de la información recogida en los puntos anteriores.

5.2 Estimación y gestión de rechazos de madera tratada generados por la industria de la 2ª transformación de la madera

El análisis de los rechazos de madera tratada generados por la industria de la segunda transformación de la madera se ha centrado en aquellas actividades con mayor masa crítica en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco, tales como la fabricación de muebles y carpintería industrial.

Con relación a la industria de fabricación de muebles, se han realizado visitas a diferentes empresas al objeto de analizar las cantidades y tipología de rechazos anualmente generados. Las cantidades suelen oscilar entre las 7 toneladas/año de empresas pequeñas y las 15 toneladas/año de empresas grandes. Considerando que en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco hay unas 140 empresas dedicadas a la fabricación del mueble, de las cuales 40 generan importantes volúmenes de rechazo, se puede realizar la siguiente estimación:

- 40 empresas grandes x 15 toneladas de rechazo/empresa grande = 600 toneladas rechazo.
- 100 empresas pequeñas x 7 toneladas de rechazo/empresa pequeña = 700 toneladas rechazo.
- Estimación de rechazos de madera asociadas a la *fabricación del mueble* = 1300 toneladas.

En lo referente a las actividades de carpintería industrial, se estima una generación de unas 6000 toneladas/año en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco. De entre todas, cabe destacar aquéllas que utilizan como materia prima elementos de madera tratada con sales CCA (Cr, Cu, As) destinados a la fabricación de elementos paisajísticos, mobiliario urbano o elementos para actividades agrícolas. Teniendo en cuenta unas 10 carpinterías de este tipo, con una generación anual de 36 toneladas, se puede estimar en 360 toneladas la cantidad anual de rechazos de madera tratada con sales CCA en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

En cualquier caso, la gestión de los rechazos producidos se realiza a través de gestores de madera de la Comunidad Autónoma del País Vasco que trituran el re-

siduo para producir astilla, la cual se comercializa, principalmente, como materia prima para la fabricación de tablero aglomerado. Así, la estimación de cantidades realizada en este apartado ha de ser del mismo orden que el que se obtenga de examinar los datos de cantidades de residuos de madera reciclados por las empresas gestoras de residuos de madera de la Comunidad Autónoma del País Vasco (ver apartado 5.3).

tibles de retornar al mercado como consecuencia de su alto valor añadido. El presente inventario, se centrará únicamente en elementos de madera que como tales han finalizado el ciclo rotativo, y por ende, son objeto de reciclaje, valorización energética o vertido.

La Tabla 2 recoge información acerca de los principales gestores de residuos de madera de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

5.3 Estimación y gestión de residuos de madera tratada con origen en actividades industriales, comerciales y municipales

Para el análisis de cantidades y gestión de los residuos de madera tratada procedentes de actividades industriales, comerciales, constructivas o municipales se han consultado el grueso de entidades gestoras de residuos de madera en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Tal y como se ha adelantado en el apartado introductorio, la gestión de la mayor parte de los residuos de madera se realiza, en la Comunidad Autónoma del País Vasco, a través de entidades (públicas y privadas) dedicadas a la valorización de los mismos. La mayoría de los residuos de madera se reciclan al objeto de obtener un subproducto (astilla) que se vende bien como materia prima en la fabricación de tablero aglomerado de madera, bien como combustible alternativo en procesos industriales. Finalmente, cabe mencionar que ciertas tipologías de residuos de madera en buen estado de conservación (envases, embalajes, muebles de madera maciza, madera estructural, traviesas de ferrocarril, etc), una vez acondicionadas, son suscep-



Por otro lado, al objeto de profundizar en la estimación de cantidades por tipologías se realizaron los siguientes trabajos de campo:

Tabla 2: Gestores de residuos de madera de la Comunidad Autónoma del País Vasco analizados para la elaboración del inventario de residuos de madera tratada³.

| EMPRESA GESTORA | PROVINCIA | CANTIDAD DE RESIDUOS ¹ VALORIZADOS (toneladas/año 2004) |
|-------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|
| Arregi Etxabe Juan Jose, S.A. | Gipuzkoa | 30.500 |
| Egur Birziklatu 2000, S.L. (Maderas Orúe, S.L.) | Bizkaia | 30.000 ² |
| Mancomunidad de San Marcos | Gipuzkoa | 15.725 |
| Beotibar Recycling, S.L. | Bizkaia | 11.200 |
| BRV, S.L. (Palets Victoria) | Bizkaia | 5.000 |
| Tritunor, S.L. (Palenor, S.L.) | Bizkaia | 2.600 |
| Escor Vitoria, S.L. | Araba | 1.850 |
| Recimadera, S.L. | Araba | 1.600 |

¹ Tipos de residuos encuadrados en la clasificación de la Tabla 1.

² Si bien esta empresa no ha facilitado datos oficiales, se tiene constancia que valoriza una cantidad de residuos de madera en torno a las 30.000 ton/año.

³ Los datos totales del inventario de madera tratada quedan recogidos en la Tabla 7.

Tabla 3: Residuos de madera con origen en RCD de Volbas, S.A. (2004).

| MES | MADERA RECUPERADA A RECICLAR (ton) | MADERA EN VERTEDERO (ton) | RCD VERTIDO (ton) | RELACIÓN % (MADERA/RCD) |
|--------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| Enero | 200 | 80 | 9.600 | 2,9 |
| Febrero | 350 | 140 | 17.800 | 2,8 |
| Marzo | 340 | 136 | 21.400 | 2,2 |
| Abril | 350 | 140 | 17.600 | 2,8 |
| Mayo | 410 | 164 | 19.200 | 3,0 |
| Junio | 380 | 152 | 18.800 | 2,8 |
| Julio | 450 | 180 | 17.600 | 3,6 |
| Agosto | 290 | 116 | 12.200 | 3,3 |
| Septiembre | 300 | 120 | 16.900 | 2,5 |
| Oct+nov+dic | 520 | 208 | 25.600 | 2,8 |
| TOTAL | 3.590 | 1.436 | 176.700 | 2,8 |



Fig 9: Recuperación madera en Volbas, S.A.



Fig 10: Residuos de madera en zona de vertido.

Estudio de los residuos madera de construcción y demolición vertidos en Volbas, S.A.

Durante el año 2004 la empresa Volbas, S.A., gestora de la zona de vertido de RCD situada en el alto de Enekuri (Bizkaia), recuperó unas 3.600 toneladas de madera procedente de actividades de construcción y demolición, permaneciendo en vertedero unas 1.400 toneladas. Los residuos de madera recuperados se gestionaron a través de la empresa Egur Birziklatu 2000, S.L. (Maderas Orúe, S.L.).

La Tabla 3 recopila información facilitada por Volbas, S.A. sobre cantidades de residuos de madera de RCD.

Estudio de la composición de los voluminosos de madera procedentes de recogidas municipales

El flujo de residuos de voluminosos de madera procedentes de recogidas municipales está compuesto de elemen-

tos tales como muebles o enseres, carpintería domiciliaria y en menor medida de envases y embalajes. Con el fin de establecer unos porcentajes que permitieran estimar cantidades por tipología a partir de una cantidad total conocida de voluminosos de madera, se procedió, en la zona de acopio de voluminosos de madera del vertedero de San Marcos, a realizar un pequeño estudio articulado en torno a los siguientes pasos:

1. Selección de una muestra representativa del acopio.
2. Separación por tipologías: a) muebles y enseres, b) elementos de carpintería, c) envases y embalajes.
3. Determinación de los pesos de cada una de las categorías.
4. Determinación porcentual.

A continuación se ilustran algunos de los pasos del proceso anteriormente descrito.



Fig 11: Acopio de voluminosos de madera.



Fig 12: Separación de Muebles y Enseres.



Fig 13: Separación de Elementos de Carpintería.



Fig 14: Separación de Envases y Embalajes.

De la muestra seleccionada se obtuvieron los siguientes resultados para cada una de las tipologías establecidas:

Tabla 4: Determinación porcentual por tipologías de residuos de madera tratada en el flujo de voluminosos urbanos acopiado en San Marcos.

| TIPOLOGÍA | *PESO (kg) | PORCENTAJE (%) |
|--------------------------|------------|----------------|
| Muebles y Enseres | 240 | 70 |
| Elementos de Carpintería | 80 | 24 |
| Envases y Embalajes | 20 | 06 |

* Sensibilidad de la balanza: múltiplos de 20 kg.

Los resultados del estudio en San Marcos siguen la misma tendencia que los obtenidos en un análisis homólogo acometido en el municipio de Vitoria-Gasteiz:

Tabla 5: Determinación porcentual por tipologías de residuos de madera tratada en el flujo de voluminosos urbanos del municipio de Vitoria-Gasteiz.

| TIPOLOGÍA | PESO (kg) | PORCENTAJE (%) |
|--------------------------|-----------|----------------|
| Muebles y Enseres | 380 | 63 |
| Elementos de Carpintería | 160 | 27 |
| Envases y Embalajes | 60 | 10 |

La categoría de residuos de madera con origen en muebles y enseres predomina con respecto a las categorías de elementos de carpintería y envases y embalajes.

Se puede concluir que 8/12 (=67%) del total de voluminosos de madera son muebles y enseres, 3/12 (=25%) son elementos de carpintería y 1/12 (=8%) son envases y embalajes. Los valores anteriores se ajustan perfectamente a la media de los porcentajes expresados en las Tablas 4 y 5 para cada una de las categorías establecidas.

Estudio de la composición de residuos de madera vertidos en el vertedero de Gardelegui (Vitoria-Gasteiz)

La estimación de las cantidades de residuos de madera vertidos en Gardelegui durante el año 2004 se realizó a partir del estudio minucioso de los registros de entrada del mes de septiembre, y extrapolando dichos datos al resto del año. Las tipologías analizadas en los registros correspon-

den a rechazos industriales de madera, madera procedente de RCD, y envases con origen en actividades industriales. Cabe comentar que los voluminosos urbanos de madera se recogen selectivamente en puntos limpios. Esta corriente residual se recicla a través de la empresa Escor Vitoria, S.L. que opera en el entorno de Vitoria-Gasteiz.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.

5.4 Elaboración del inventario de residuos de madera tratada de la Comunidad Autónoma del País Vasco (2004)

A partir de la información recogida en el apartado 5.3, se ha elaborado el inventario de residuos de madera tratada de la Comunidad Autónoma del País Vasco-2004 (ver Tabla 7).

Tabla 6: Estimación de cantidades de residuos de madera tratada en Gardelegui.

| TIPOLOGÍA DE RESIDUO DE MADERA TRATADA | ESTIMACIÓN SEPTIEMBRE 2004 (ton) | EXTRAPOLACIÓN 2004 (ton) |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Envases y embalajes con origen en actividades industriales | 36 | 397 |
| Madera con origen en RCD | 97 | 1.204 |
| Rechazos industriales | 56 | 618,5 |

Tabla 7: Inventario de residuos de madera tratada en la Comunidad Autónoma del País Vasco-2004.

| CATEGORÍA | RECICLADO PARA AGLOMERADO (toneladas) | VALORIZACIÓN ENERGÉTICA (toneladas) | VERTEDERO (toneladas) | Subtotal POR TIPOLOGÍA (toneladas) | Subtotal POR TIPOLOGÍA (%) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|
| RECHAZOS INDUSTRIALES | 5.989,00 | | 983,35 | 6.972,35 | 6,87 |
| VOLUMINOSOS TOTALES | | 30.241,22 | | | |
| MUEBLES Y ENSERES (67%) | | 20.261,62 | | 20.261,62 | 19,95 |
| ELEMENTOS DE CARPINTERÍA (25%) | | 7.560,31 | | 7.560,31 | 7,44 |
| ENVASES Y EMBALAJES (8%) | | 2.419,30 | | 42.787,03 | 42,13 |
| ENVASES Y EMBALAJES | 39.970,35 | | 397,39 | | |
| RCD | 21.098,54 | | 2.879,80 | 23.978,33 | 23,61 |
| Subtotal POR GESTIÓN (toneladas): | 67.057,88 | 30.241,22 | 4.260,54 | 101.559,64 | |
| Subtotal POR GESTIÓN (%): | 66,03 | 29,78 | 4,20 | | |

NOTAS:

1. La cantidad de traviesas fuera del trazado ferroviario no se han estimado puesto que la gestión actual de éstas pasa, principalmente, por la reutilización como elementos constructivos o paisajismo. En la actualidad, estos elementos presentan alto valor añadido en el mercado, y su comercialización se realiza al margen del circuito de reciclaje. En el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco, existen empresas que importan traviesas de otros países para su posterior comercialización. En el apartado de caracterización se abordará la problemática asociada a la madera creosotada.
2. La cantidad de postes de madera de redes telefónicas y eléctricas, fuera de uso, se pueden considerar despreciables. Cuando se reemplaza algún poste de madera, éste queda, la mayoría de las veces, en manos de particulares, resultando difícil la estimación de cantidades. Con todo, el apartado de caracterización abordará la problemática asociada a esta tipología.
3. En cuanto a la tipología de elementos paisajísticos y recreativos de madera tratada con sales CCA, cabe destacar que en la actualidad no aparecen en forma de residuo.

6 Caracterización química de los residuos de madera tratada

Esta tarea ha tenido como finalidad analizar el contenido de sustancias peligrosas asociadas a los tratamientos de cada una de las categorías definidas en la Tabla I.

Como ya se ha indicado, los distintos tratamientos empleados en la protección de la madera conllevan la utilización de diversas sustancias que puedan suponer un riesgo hacia el medio ambiente y/o la salud humana. Por ello, se considera necesario identificar y conocer el contenido de estos compuestos contaminantes en los residuos de madera tratada, así como la afección potencial asociada a la presencia de éstos. Con esta finalidad se ha procedido a recoger distintos tipos de residuos madera tratada, efectuando una serie de determinaciones químicas dirigidas a establecer las concentraciones de agentes contaminantes en los mismos. Sobre la base de los resultados de las determinaciones analíticas se discutirá la idoneidad de las prácticas de gestión actual.

6.1 Recogida de muestras de residuos de madera tratada

A continuación se describe e ilustra el muestreo realizado:

a) Rechazo industrial con origen la industria de fabricación del mueble

- Retales de tablero aglomerado: Muebles Landu (Gipuzkoa).
- Retales MDF-tablero de fibras: Muebles Azkue (Gipuzkoa).

b) Rechazos con origen en carpinterías industriales

- Retales de pallet recién tratado: Larrañaga (Gipuzkoa).
- Rechazos de madera tratada con sales CCA: Zulaika-Jolas (Gipuzkoa).



Fig 15: Retales MDF-tablero de fibras.



Fig 16: Retales de tablero aglomerado.



Fig 17: Pallet recién tratado.



Fig 18: Rechazos de madera tratada con sales CCA.



Fig 19: Muebles fuera de uso (tablero aglomerado con melamina marrón).



Fig 20: Muebles fuera de uso (tablero aglomerado con melamina blanca).



Fig 21: Elemento de carpintería (premarco pintado de blanco).



Fig 22: Elemento de carpintería (persiana de madera pintada de verde).



Fig 23: Pallet pintado.



Fig 24: Envases sin pintar.



Fig 25: Encofrado fuera de uso.



Fig 26: Madera estructural sin tratamiento curativo.



Fig 27: Madera estructural con tratamiento curativo.



Fig 28: Poste telefónico.



Fig 29: Traviesas de ferrocarril.



Fig 30: Trituración de muestras.

c) Residuos voluminosos de madera

- Muebles fuera de uso (tablero aglomerado con melamina marrón): Mancomunidad de San Marcos (Gipuzkoa).
- Muebles fuera de uso (tablero aglomerado con melamina blanca): M. San Marcos (Gipuzkoa).
- Elemento de carpintería (premarco pintado de blanco): M. San Marcos (Gipuzkoa).
- Elemento de carpintería (persiana de madera pintada de verde): M. San Marcos (Gipuzkoa).

d) Envases y embalajes

- Pallet pintado: Beotibar Recycling (Bizkaia).
- Envases sin pintar: Mancomunidad de San Marcos (Gipuzkoa).

e) Madera con origen en residuos de construcción y demolición

- Encofrados fuera de uso (2 muestras): Beotibar Recycling (Bizkaia).
- Madera estructural sin tratamiento curativo: Mancomunidad San Marcos (Gipuzkoa).
- Madera estructural con tratamiento curativo: Particular (Gipuzkoa).

f) Madera creosotada

- Postes telefónicos: Particular (Gipuzkoa).
- Traviesas: Histórico Cidemco.

Las muestras recogidas se han sometido a un proceso de trituración en laboratorio al objeto de obtener polvo a partir del cual realizar la caracterización química.

6.2 Caracterización química de los residuos de madera tratada: definición de parámetros

La caracterización química de los residuos ha tenido como finalidad identificar las sustancias potencialmente contaminantes presentes en la madera tratada. El análisis químico de los residuos se ha realizado de acuerdo a las distintas tipologías de los mismos (procedencia y tratamiento químico) definidas en la Tabla 1 y en base a la información recopilada en el inventario del apartado 3.

El diseño de determinaciones analíticas se ha llevado a cabo de acuerdo a la información recopilada en las tareas previas acerca de los tratamientos en profundidad y superficiales empleados en cada categoría de madera. Una parte importante de los residuos de madera incorporan recubrimientos superficiales constituidos principalmente de pinturas y barnices aplicados durante la vida útil del elemento de madera. Actualmente la carga medioambiental asociada al contenido de las pinturas se ha minimizado significativamente. Sin embargo, históricamente el uso de pinturas ha supuesto la incorporación de una cierta cantidad de sustancias con alta peligrosidad potencial hacia el medio ambiente y salud humana (metales pesados principalmente). Dado que un alto porcentaje de los actuales residuos de madera generados se corresponden con elementos fabricados hace varios años (carpintería, madera estructural, etc.), se considera aquí necesario incluir, además de los propios tratamientos protectores de la madera, la afección derivada de las pinturas empleadas. Bajo este punto de vista se incluirá en la estrategia de determinaciones analíticas a realizar, el análisis de metales pesados asociados a pinturas. La Tabla 8 recoge el planteamiento propuesto para la caracterización química de las muestras de residuos de madera tratada.

Tabla 8: Diseño analítico para la caracterización de los residuos de madera.

| CATEGORÍA | SUB-CATEGORÍA | PARÁMETROS DE ANÁLISIS |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Residuos industriales (2ª transformación) | Retales de la fabricación de muebles (tableros de partículas) | Formaldehído, Isocianatos |
| | Rechazos de pallet recién tratado | Pentaclorofenol |
| | Rechazos de madera tratada con sales CCA | Metales (Cr, Cu, As, B) |
| Residuos Voluminosos | Muebles y enseres fuera de uso | Formaldehído Isocianatos EOX ¹ |
| | Elementos de carpintería (marcos, ventanas, tarimas,...) | Fenoles Aceite mineral Metales (Zn, Ti, Cd, Pb, As, Cr, Hg, Cu) ² |
| Envases y embalajes | - | Pentaclorofenol Pentaclorofenato sódico Metales (Zn, Ti, Cd, Pb, As, Cr, Hg, Cu) ² |
| Residuos de Construcción y Demolición | Encofrados fuera de uso | Aceite mineral EOX ¹ PAH BTEX |
| | Madera estructural | EOX ¹ Metales (Cu, B) Comp. Organoclorados (lindano, aldrin, DDT) Comp. Organoestánicos (TBTO) |
| Postes de redes eléctricas y telefónicas. Madera creosotada | - | Creosotas (benzo-a-pireno, y fenoles) ³ Sales CCA y derivados (Cr, Cu, As, B) |
| Elementos urbanos o paisajísticos | - | Sales CCA y derivados (Cr, Cu, As, B) |

¹ El análisis de EOX servirá para identificar la presencia de compuestos clorados, llevándose a cabo en aquellas muestras en las que este parámetro resulte significativo un análisis posterior de VOCs (como VOCs halogenados, se estudiará la correlación con EOX) e hidrocarburos clorados (como cloroalcanos).

² Metales pesados asociados al empleo de pinturas.

³ La determinación de creosotas se realizará según la norma EN-1014 (*Wood preservatives – Creosoted timber*). Esta norma indica la determinación de benzo-a-pireno y fenoles en la creosota de la madera. Sin embargo, se incluirán en el análisis otros PAHs (naftaleno y fluoranteno), ya que si bien el benzo-a-pireno habitualmente es un buen indicador de la presencia de esta familia de compuestos, no siempre es representativo de la existencia de creosota.

6.3 Resultados del análisis químico de las diferentes muestras de residuos de madera tratada

El presente apartado recoge los resultados de la caracterización química efectuado sobre cada una de las muestras correspondientes a las categorías establecidas.

6.3.1 Análisis químico de retales procedentes de la fabricación de muebles

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a colas y adhesivos utilizados en la fabricación de muebles. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 9.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- No se evidencian niveles detectables de isocianatos.
- Los niveles de formaldehído son ligeramente superiores a 80 mg/kg.

6.3.2 Análisis químico de rechazos de pallets recién tratados

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a productos de prevención contra la degradación por xilófagos y agentes abióticos. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 10.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- No se evidencian niveles detectables de pentaclorofenol.

Tabla 9: Analítica de formaldehído e isocianatos en rechazos de madera de la industria del mueble.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA 1 (mg/kg) | RESULTADO MUESTRA 2 (mg/kg) |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Formaldehído | 150 | 100,6 |
| Isocianatos | < 0,01 | < 0,01 |

Tabla 10: Analítica de pentaclorofenol en rechazos de pallets recién tratados.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA (mg/kg) |
|--------------------------|---------------------------|
| Pentaclorofenol | < 0,001 |

Tabla 11: Analítica de metales en rechazos de madera de carpintería industrial.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA (mg/kg) |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| RECHAZOS DE MADERA RECOGIDOS EN "JOLAS" (CCB) | |
| Cu | 43,44 |
| Cr | 70,55 |
| B | 2,68 |
| RECHAZOS DE MADERA RECOGIDOS EN "CARPINTERÍA ZULAICA" (ACQ) | |
| Cu | 114,76 |
| Cloruro de benzalconio (CB) | 54,80 |

6.3.3 Análisis químico de rechazos de madera tratada con sales

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a tratamientos en profundidad contra la degradación por xilófagos y agentes abióticos. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 11.

Como paso previo a la determinación de concentraciones de metales, ha sido necesario confirmar si los rechazos provenían de elementos tratados con sales CCA u otro tipo de sales. Mediante reactivos específicos utilizados para la identificación de los diferentes tipos de sales, se ha observado que los rechazos de madera, recogidos en la empresa "Jolas", estaban tratados con sales CCB (cromo, cobre y boro), mientras que los rechazos de madera recogidos en la empresa "Carpintería Zulaika" estaban tratados con sales de tipo ACQ (cobre y cloruro de benzalconio). Tras llevar a cabo las analíticas adecuadas, se cuantificaron los correspondientes ingredientes activos (Tabla 11).

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- Se evidencian elevados niveles de Cu, y Cr.

Por otro lado, cabe citar que no se ha encontrado entre las muestras de rechazo de madera tratada con sales, muestras tratadas con sales CCA (cobre, cromo, arsénico). A este respecto, cabe mencionar que la Directiva 2003/2/CE limita la comercialización y uso de la madera tratada con protectores que contengan cobre, cromo o arsénico, no pudiendo ser utilizada en:

- Construcciones residenciales o domésticas, con independencia de su finalidad.
- Ninguna aplicación en la cual exista un riesgo de contacto entre la piel y la madera.
- Aguas marinas.
- Usos agrícolas, con la excepción de su utilización como postes en las cercas para el ganado y como madera estructural (siempre que no haya contacto con la piel a lo largo de la vida útil).
- Ninguna aplicación en la cual la madera tratada pueda entrar en contacto con productos intermedios o productos terminados destinados al consumo humano o animal.

Por otro lado, se ha realizado un análisis de cantidades de cromo, cobre y arsénico que pueden contener la madera tratada con sales CCA, sobre la base de un histó-

rico de CIDEMCO de los últimos tres años. Por término medio, se han obtenido los siguientes resultados:

- Cantidad de Cu en la madera: 64 ppm en la madera tratada con CCA.
- Cantidad de Cr en la madera: 90 ppm en la madera tratada con CCA.
- Cantidad de As en la madera: 37 ppm en la madera tratada con CCA.

Cabe mencionar, por último, que el tratamiento de la madera con sales CCA se viene realizando desde la década de los 60, utilizando concentraciones de los metales pesados mayores a las aplicadas en la actualidad, algunas veces con contenidos en As > 0,1% que establece la Directiva de Residuos Peligrosos para sustancias potencialmente cancerígenas.

6.3.4 Análisis químico de muebles y enseres de madera fuera de uso

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a colas y adhesivos utiliza-

dos en la fabricación de muebles. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 12.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- No se evidencian niveles detectables de isocianatos.
- El contenido de formaldehído de una de las muestras es ligeramente superior a 80 mg/kg (límite establecido en el documento "Ecolabelling of floorings-criteria document" seguido en Noruega y Dinamarca).

6.3.5 Análisis químico de elementos de carpintería de madera fuera de uso

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a recubrimientos superficiales tales como barnices o pinturas. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 13.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- No se evidencian niveles significativos de Cd, Cu, Ni, As, Hg, aceite mineral y fenoles.
- La muestras presentan elevados contenidos en Pb y Cr.

Tabla 12: Analítica de formaldehído e isocianatos en muebles y enseres de madera fuera de uso.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA 1: Tablero de partículas con melamina marrón (mg/kg) | RESULTADO MUESTRA 2: Tablero de partículas con melamina blanca (mg/kg) |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Formaldehído | 234,6 | 6,2 |
| Isocianatos | < 0,01 | < 0,01 |
| EOX | 1,2 | - |

Tabla 13: Analítica de elementos de carpintería fuera de uso.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA 1: Premarco pintado (mg/kg) | RESULTADO MUESTRA 2: Persiana de madera pintada (mg/kg) |
|--------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Aceite mineral C10-C40 | 560 | 560 |
| Índice de fenoles | 2 | 2,6 |
| Pb | 1400 | 12000 |
| Cd | 0,26 | 1 |
| Cr | 130 | 1700 |
| Cu | 13 | 31 |
| Ni | 4,3 | 2,1 |
| Zn | 390 | 2000 |
| Ti | 580 | 160 |
| As | 1 | 8 |
| Hg | 0,7 | < 0,05 |

Tabla 14: Analítica de envases y embalajes fuera de uso (pentaclorofenol y metales).

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA 1: Pallet sin pintar (mg/kg) | RESULTADO MUESTRA 2: Pallet pintado (mg/kg) |
|--------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Pentaclorofenol | < 0,001 | - |
| Pentaclorofenato sódico | 0,198 | - |
| Pb | - | 3,4 |
| Cd | - | 0,07 |
| Cr | - | 1,8 |
| Cu | - | 5,7 |
| Ni | - | 0,74 |
| Zn | - | 20 |
| Ti | - | < 50 |
| As | - | < 1 |
| Hg | v | < 1 |

Tabla 15: Analítica de encofrados de madera fuera de uso.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA 1: Encofrado con recubrimiento amarillo (mg/kg) | RESULTADO MUESTRA 2: Encofrado con recubrimiento amarillo (mg/kg) |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Benceno | < 3 | < 3 |
| Etilbenceno | 900 | 1000 |
| m-Xileno | 3300 | 3400 |
| o-Xileno | 800 | 800 |
| p-Xileno | 510 | 520 |
| Tolueno | 800 | 820 |
| 01.Naftaleno | < 0,05 | < 0,05 |
| 02.Acenaftileno | < 0,05 | < 0,05 |
| 03.Acenafteno | < 0,05 | < 0,05 |
| 04.Floureno | 0,10 | 0,09 |
| 05.Fenantreno | 0,23 | 0,20 |
| 06.Antraceno | < 0,05 | < 0,05 |
| 07.Fluoranteno | < 0,05 | < 0,05 |
| 08.Pireno | < 0,05 | < 0,05 |
| 09.Benzo(a)antraceno | < 0,05 | < 0,05 |
| 10.Criseno | < 0,05 | < 0,05 |
| 11.Benzo(b)fluoranteno+ Benzo(j)fluoranteno | < 0,05 | < 0,05 |
| 12.Benzo(k)fluoranteno | < 0,05 | < 0,05 |
| 13.Benzo(a)fluoranteno | < 0,05 | < 0,05 |
| 14.Indeno(1,2,3-c,d)pireno | < 0,05 | < 0,05 |
| 15.Dibenzo(a,h)antraceno | < 0,05 | < 0,05 |
| 16.Benzo(g,h,i)perileno | < 0,05 | < 0,05 |
| Aceite mineral C10-C40 | 740 | 800 |
| EOX | 2,4 | 2,5 |

6.3.6 Análisis químico de envases y embalajes de madera fuera de uso

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a productos de prevención contra la degradación por xilófagos y agentes abióticos, así como a recubrimientos superficiales tales como pinturas. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 14.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- No se evidencian niveles significativos en cuanto a los parámetros analizados.

6.3.7 Análisis químico de encofrados de madera fuera de uso

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, básicamente, a tratamientos superficiales (ceras, resinas) aplicados a los tablones de madera dirigidos a facilitar el desencofrado. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 15.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- La muestras presentan elevados contenidos de BTEX y aceite mineral.
- No se evidencian niveles detectables de PAH.

6.3.8 Análisis químico de madera estructural fuera de uso

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a tratamientos en profundidad para proteger la madera contra xilófagos. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 16.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- No se evidencian niveles significativos de Cu y B.
- La muestras no presentan contenidos detectables de compuestos organoclorados.

6.3.9 Análisis químico de poste de madera fuera de uso

Los parámetros químicos analizados en esta tipología están asociados, principalmente, a tratamientos en profundidad en base a creosotas para proteger la madera contra xilófagos. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 17.

Los resultados obtenidos denotan concentraciones significativas de Cr y benzopireno para opciones de gestión tales como reciclaje, valorización energética o vertido.

Tabla 16: Analítica de elementos de madera estructural fuera de uso.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA 1: Elemento estructural SIN tratamiento curativo (mg/kg) | RESULTADO MUESTRA 2: Elemento estructural CON tratamiento curativo (mg/kg) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Cu | 1,2 | 1,6 |
| B | < 5 | 6,6 |
| Lindano | < 0,001 | < 0,001 |
| Aldrin | < 0,01 | < 0,01 |
| DDT | < 0,01 | < 0,01 |
| TBTO | < 0,01 | < 0,01 |

Tabla 17: Analítica de postes fuera de uso.

| MATERIA ACTIVA ANALIZADA | RESULTADO MUESTRA: Poste de madera |
|--------------------------|---------------------------------------|
| As (mg/kg) | < 0,05 |
| Cu (mg/kg) | 12 |
| Cr (mg/kg) | 33 |
| B (mg/kg) | < 0,5 |
| Benzo(a)pireno | 51 mg/kg = 0,0051% masa |
| Fenoles | < 10 mg/kg = < 1% masa |

6.3.10 Histórico de analítica de elementos de madera creosotada

La creosota es el nombre usado para describir una mezcla de unos 200 compuestos químicos, la mayoría de los cuales son hidrocarburos aromáticos. Con el término creosota se incluyen la creosota de madera, la creosota del alquitrán del carbón, el alquitrán del carbón, y la brea de alquitrán del carbón.

Durante años esta sustancia ha sido utilizada como agente de impermeabilización en hogares, traviesas de ferrocarril, postes del tendido eléctrico y telefónico, cercas, puentes, etc. Sin embargo, con la entrada en vigor de la Directiva 2001/90/CE el 30 de junio de 2000, la creosota no puede usarse en el tratamiento de la madera. Asimismo, dicha Directiva establece las disposiciones para la comercialización de madera creosotada. En este contexto, los residuos de madera creosotada no podrán utilizarse en el interior de edificios, en terrenos de juego, en parques, jardines e instalaciones recreativas y de ocio al aire libre en los que exista riesgo de contacto con la piel, en la fabricación de muebles de jardín, ni para la fabricación de contenedores para cultivos y envases que puedan estar en contacto con materias primas, productos intermedios o productos destinados al consumo humano y animal.

Los principales componentes de la creosota son hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) derivados del benceno, siendo el principal compuesto el benzo[a]pireno. Así, el benzo(a)pireno es el compuesto utilizado en la caracterización de la madera creosotada. El benzo(a)pireno es catalogado como un producto peligroso y cancerígeno. Sus efectos sobre la salud humana van desde la

irritación de la piel, ojos y membranas mucosas, hasta el riesgo de cáncer de piel. En individuos sometidos a dosis severas puede producir salivación, vómitos, cianosis, hipotermias, coma e incluso puede llegar a ocasionar la muerte del individuo debido a un fallo multiorgánico. Un estudio realizado por el Comité Científico de Toxicología, Ecotoxicología y Medio Ambiente dictaminó que la creosota con una concentración de benzo(a)pireno superior al 0,005% en masa y/o la madera que contiene dicha creosota presentan riesgo de cáncer para los consumidores. Otro parámetro utilizado en la caracterización de la madera creosotada es el contenido en fenoles extraíbles en agua, para el cual se establece un límite máximo del 3% en masa.

En CIDEMCO se han realizado diferentes analíticas de madera creosotada, en los cuales se utilizan como parámetros de caracterización de dicha madera, el compuesto benzo(a)pireno y el contenido en fenoles extraíbles en agua. A continuación se presenta una relación de los diferentes contenidos obtenidos, tras llevar a cabo las diversas analíticas químicas a 22 muestras de madera creosotada.

Algunos de los componentes de la creosota no se degradan con facilidad, resultan nocivos para el medio ambiente. De acuerdo con el artículo 2 de la Decisión de la Comisión 2001/532/EC, referente a las listas de residuos, cualquier residuo que contenga una o más sustancias clasificadas como carcinogénicas de categoría 2 en una concentración igual o mayor de 0,1% se considera un residuo peligroso. Por lo tanto, cualquier madera tratada que contenga más de un 0,1% en peso de creosota será un residuo peligroso y deberá ser manipulada de acuerdo con la Directiva 91/689/CEE sobre residuos peligrosos,

Tabla 18: Histórico de analítica de benzo(a)pireno en madera creosotada.

| CONTENIDO EN BENZO(A)PIRENO %(m/m) | PORCENTAJE DE MUESTRAS DE MADERA (%) |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| (0,0000 % - 0,050%) | 27,27 |
| (0,050 % - 0,100 %) | 50,50 |
| (0,100 % - 0,150 %) | 18,18 |
| (0,150 % - 0,200 %) | 4,54 |

Tabla 19: Histórico de analítica de fenoles en madera creosotada.

| CONTENIDO EN FENOLES %(m/m) | PORCENTAJE DE MUESTRAS DE MADERA (%) |
|--------------------------------|-----------------------------------------|
| (0,000 % - 0,005%) | 43,47 |
| (0,005 % - 0,010 %) | 39,13 |
| (0,010 % - 0,015 %) | 4,35 |
| (0,015 % - 0,020 %) | 4,35 |

según el artículo 2 párrafo 2 de la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos.

Respecto a lo anteriormente mencionado, de entre las muestras de madera creosotada analizadas por CIDEMCO puede decirse que aproximadamente un 23 % de ellas pueden considerarse como un residuo peligroso por este hecho.

Las maderas tratadas con creosota en una concentración menor de 0,1% se podrán incluir igualmente entre las peligrosas siempre que presenten alguna otra característica de peligro, en particular sobre la base de su ecotoxicidad (H14) o de su potencial para liberar después de su desecho alguna otra sustancia peligrosa (por ejemplo, a causa del deslavado) (H13), expresado en el anexo III de la Directiva 91/689/CEE.

6.3.11 Conclusiones sobre la caracterización de residuos de madera tratada. Análisis desde la perspectiva de la Directiva 91/689/CEE relativa a residuos peligrosos

Si bien el muestreo realizado puede resultar insuficiente a la hora de establecer conclusiones generales sobre el potencial de riesgo asociado a las diferentes categorías de residuos de madera tratada, los resultados obtenidos en la caracterización química apuntan las siguientes tendencias:

- Las tipologías de residuos de madera tratada *con mayor potencial de riesgo* son aquéllas asociadas a *elementos de carpintería pintados* (altas concentraciones de Pb y Cr), *madera tratada con sales CCA* (elevadas concentraciones de Cr, As y Cu), *madera creosotada* (elevados niveles de benzo(a)pireno) y *encofrados fuera de uso* (contenidos importantes de BTEX).
- Las tipologías de residuos de madera tratada asociadas a *muebles, enseres y rechazos procedentes de la industria del mueble* pueden presentar riesgos asociados a la presencia de formaldehído.
- Las tipologías de residuos de madera tratada asociadas a *envases y embalajes*, así como a *elementos de madera estructural* no apuntan riesgos ambientales y de salud significativos. Con todo, para aquellos elementos de *madera estructural en los que se evidencia algún tipo de intervención curativa* (por ejemplo, la presencia de válvulas) se recomienda realizar una analítica orientada a detectar compuestos organoclorados o metales pesados.

Las conclusiones generales, anteriormente citadas, quedan avaladas mediante un análisis desde la perspectiva de la Directiva 91/689/CEE. Dicha Directiva, junto con la Decisión 2000/532/CE, establecen las categorías de residuos considerados como peligrosos, así como las características que deben presentar dichos residuos peligrosos

para clasificarlos como tal. En este sentido, cualquier residuo clasificado como peligroso a través de una referencia específica o general a sustancias peligrosas, sólo se considerará peligroso si las concentraciones de estas sustancias (es decir, porcentaje en peso) son suficientes para que los residuos presenten una o más de las características enumeradas en el Anexo III de la Directiva 91/689/CEE del Consejo. Por lo que se refiere a las categorías H3 a H8, H10 y H11 se aplicará el artículo 2 de la Decisión 2000/532/CE, que establece los siguientes límites:

- **H3.** Punto de inflamación $\leq 55^{\circ}\text{C}$.
- **H4.** Una o más sustancias clasificadas como **irritantes** clasificadas como R41 en una concentración total $\geq 10\%$. Una o más sustancias clasificadas como irritantes clasificadas como R36, R37, R38 en una concentración total $\geq 20\%$.
- **H5.** Una o más sustancias clasificadas como **nocivas** en una concentración total $\geq 25\%$.
- **H6.** Una o más sustancias clasificadas como muy **tóxicas** en una concentración total $\geq 0,1\%$. Una o más sustancias clasificadas como tóxicas en una concentración total $\geq 3\%$.
- **H7.** Una o más sustancias consideradas **carcinogénicas** de las categorías 1 o 2 en una concentración total $\geq 0,1\%$.
- **H8.** Una o más sustancias clasificadas como **corrosivas** clasificadas como R35 en una concentración total $\geq 1\%$. Una o más sustancias clasificadas como corrosivas clasificadas como R34 en una concentración total $\geq 5\%$.
- **H10.** Una o más sustancias **tóxicas para la reproducción** de las categorías 1 o 2, clasificadas como R60 y R61, en una concentración total $\geq 0,5\%$. Una o más sustancias tóxicas para la reproducción de las categorías 3, clasificadas como R62 y R63, en una concentración total $\geq 5\%$.
- **H11.** Una o más sustancias **mutagénicas** de las categorías 1 o 2, clasificadas como R46, en una concentración total $\geq 0,1\%$. Una o más sustancias **mutagénicas** de la categoría 3, clasificadas como R40, en una concentración total $\geq 1\%$.

El artículo anterior no contiene en la actualidad disposiciones relativas a las características H1, H2, H9, H12, H13 y H14.

En el caso de las categorías de residuos de madera tratada definidas en el marco del presente trabajo, y a tenor de los resultados obtenidos en la caracterización de muestras sólidas, así como de los límites establecidos en la Decisión 2000/532, se ha considerado que la característica más restrictiva es la H7 relativa al potencial cancerígeno. Tal y como ha quedado recogido, si un determinado residuo contiene 1 o más sustancias clasificadas como cancerígenas (categorías 1 y 2 de la IARC)

en un contenido $\geq 0,1\%$, aquél adoptará la categoría de residuo peligroso. Las sustancias o compuestos caracterizados o abordados en este trabajo, clasificados como cancerígenos por el IARC, son los siguientes:

- **Grupo 1:** arsénico, benceno, cadmio, formaldehído, níquel, aceite mineral.
- **Grupo 2A:** benz(a)antraceno, benzo(a)pireno, dibenz(a,h)antraceno, plomo, creosotas.
- **Grupo 2B:** benzo(b)fluoranteno, benzo(j)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, DDT, etilbenceno, hexaclorociclohexano (lindano), naftaleno.

Atendiendo a los resultados de la caracterización realizada en el presente estudio, *resultan ser residuos peligrosos* las siguientes tipologías:

- **Elementos de carpintería fuera de uso.** Contenido en Pb $\geq 0,1\%$. Concretamente 0,14% (muestra 1) y 1,2% (muestra 2). Esta corriente surge bien en la recogida de *voluminosos urbanos*, bien en los *residuos de construcción y demolición (RCD)*.
- **Encofrados de madera fuera de uso.** Contenido en etilbenceno = 0,1% (muestra 2). Esta corriente surge en los *residuos de construcción y demolición (RCD)*.
- **Madera creosotada.** Contenido en benzopireno $\geq 0,1\%$. Un 23% de las muestras analizadas superan el 0,1%, y por tanto se han de considerar como residuo peligroso. La madera creosotada es característica de elementos tales como *traviesas fuera de uso o postes de redes eléctricas o telefónicas*.

Analizando el *potencial de peligrosidad desde la perspectiva de la característica H14 (ecotoxicidad)*, se puede enunciar que ninguna de las tipologías objeto de estudio alcanza un valor EC50 inferior o igual a 3.000 mg/l. El enunciado anterior se basa en un estudio preliminar (proyecto INTEK RESIMA-Entregable 2- febrero 2004) dirigido a evaluar la ecotoxicidad de diferentes categorías de residuos de madera tratada análogos a los establecidos en este estudio. En el análisis de la ecotoxicidad se empleó el ensayo de bioluminiscencia Microtox TM. Dicho ensayo consiste en someter a la bacteria *Vibrio fischeri*, la cual presenta actividad luminiscente en su metabolismo, a un medio que sean los lixiviados de las muestras de residuos de madera. La actividad de las bacterias puede determinarse fotométricamente, de forma que la toxicidad introducida por el lixiviado sobre el organismo se traduce en una disminución de la luminiscencia emitida. Para la extracción del lixiviado, a partir del cual se realiza el ensayo de bioluminiscencia, se aplicó el ensayo de lixiviación TCLP. Dicho ensayo es muy similar al de la normativa española. Sin embargo, se seleccionó dicho procedimiento dado que proporcionaba la misma información sobre las características del residuo, siendo, a su vez, un método más preciso y comparable. Asimismo,

proporcionaba una mayor recuperación de materias volátiles orgánicas, constituyendo un procedimiento de laboratorio más sencillo, con una mayor reproducibilidad de resultados.

El cálculo de la EC50 (concentración del lixiviado a la cual la actividad bacteriana se reduce al 50%) sirve como índice cuantitativo de la (eco)toxicidad asociada a la muestra. De forma que cuanto menor sea el valor de EC50 de una muestra, mayor será la toxicidad asociada a la misma. El empleo de este ensayo proporciona un indicador de la respuesta del ecosistema a la presencia y lixiviación potencial del residuo. Además, este test permite conocer los posibles efectos sinérgicos asociados a la presencia conjunta de diferentes contaminantes y la presencia de contaminantes no contemplados en la caracterización química del residuo.

Los ensayos de toxicidad empleando Microtox, realizados en el marco del proyecto anteriormente citado, proporcionaron los siguientes resultados de EC50 para las muestras de lixiviados:

Tabla 20: Resultados de (eco)toxicidad (EC50) de las muestras de lixiviados.

| | | EC50 (mg/L) |
|------------------------------------------|------|-------------|
| Envases Embalajes | M-1 | 200.400 |
| | M-2 | 220.400 |
| | M-3 | 134.900 |
| RCD | M-4 | 88.730 |
| | M-5 | 78.920 |
| | M-6 | 75.890 |
| Muebles Enseres | M-7 | 241.400 |
| | M-8 | 279.300 |
| | M-9 | 418.300 |
| Traviesas Postes | M-10 | 29.120 |
| | M-11 | 33.920 |
| | M-12 | 31.760 |
| Rechazos de madera tratada con sales CCA | M-13 | 93.490 |
| | M-14 | 112.700 |
| | M-15 | 68.080 |

Las muestras que presentan valores de EC50 más bajos llevan asociadas una mayor toxicidad y, por lo tanto, un mayor riesgo hacia el entorno.

Los residuos de madera creosotada, con origen en traviesas y postes, son claramente aquellos que presentan mayores índices de toxicidad. Con todo, los niveles detectados están muy por encima de los 3000 mg/litro, límite establecido para su clasificación como residuo peligroso desde un análisis de la H14.

7 Consideraciones sobre la gestión de los residuos de madera tratada

El riesgo asociado a los residuos de madera tratada está asociado a la posibilidad de migración de los compuestos químicos utilizados hacia el suelo circundante (en zonas de acopio de los residuos, por ejemplo), el desprendimiento de los mismos al contacto con la piel, así como a la emisión de compuestos y partículas contaminantes cuando se opta por incinerar incontroladamente dichos residuos.

Al objeto de evitar daños, se recomienda adoptar ciertas precauciones tanto en los procesos de manipulación del residuo como en la gestión del mismo. Si bien dichas recomendaciones han de concluirse a través de un análisis más exhaustivo de riesgos asociados a cada tipo de gestión, el presente apartado apuntará aspectos preventivos de propósito general de aplicación a aquellas categorías con mayor potencial de riesgo.

7.1 Reutilización de residuos de madera tratada

Es recomendable no reutilizar residuos de madera creosotada o tratada con sales CCA (por su alto nivel tóxico) en interior de edificios, usos agrícolas, parques, jardines e instalaciones recreativas y de ocio al aire libre en los que exista riesgo de contacto frecuente con la piel.

7.2 Reciclaje de residuos de madera tratada

Las opciones de reciclaje actuales en la Comunidad Autónoma del País Vasco pasan por un tratamiento físico-mecánico de los residuos de madera dirigidos a separar

los elementos metálicos de la propia madera, así como convertir las diferentes formas del residuo en astilla de madera que se pueda comercializar, preferentemente, como materia prima para la fabricación de tablero aglomerado. En este contexto, se debería evitar la inhalación prolongada o frecuente de polvo y partículas de madera tratada (efecto cancerígeno asociado a determinados elementos tales como As, benceno, Cr, etc.) en las áreas de trituración y acopio de la astilla. Se debería asegurar, por lo tanto, el empleo de máscaras y guantes por parte de los operarios.

Por otro lado, existe en Francia un proceso de reciclaje de residuos de madera tratada (proceso *Chartherm*) consistente en diferentes etapas de trituración, tratamiento térmico y extracción de los metales pesados. La trituración en este proceso tiene como objetivo reducir el tamaño de los residuos de madera, y hacerlos, así, uniformes de cara a favorecer el tratamiento. El tratamiento térmico consiste en calentar la madera, después de haberla introducido en una columna de reacción, sometiéndola a una corriente de gases calientes. Así se genera una combustión adiabática (sin intercambio térmico) que conduce a la gasificación de los elementos volátiles, mientras que los elementos minerales quedan atrapados en un residuo similar al carbón vegetal. Tras este paso, se produce un rápido enfriamiento que causa una condensación que atrapa todos los elementos que el gas generado en el proceso de combustión adiabática puede contener. Los gases resultantes están muy cargados de hidrocarburos y son recuperados como combustible en el generador de gas caliente. El residuo de carbón restante es extraído del fondo de la columna y pasa al siguiente apartado del proceso. En la etapa de extracción de los metales pesados, el carbón se introduce en un triturador. El proceso consigue que se liberen las partículas metálicas que este carbón



Fig 31: Traviesas reutilizadas en cercado de propiedad.

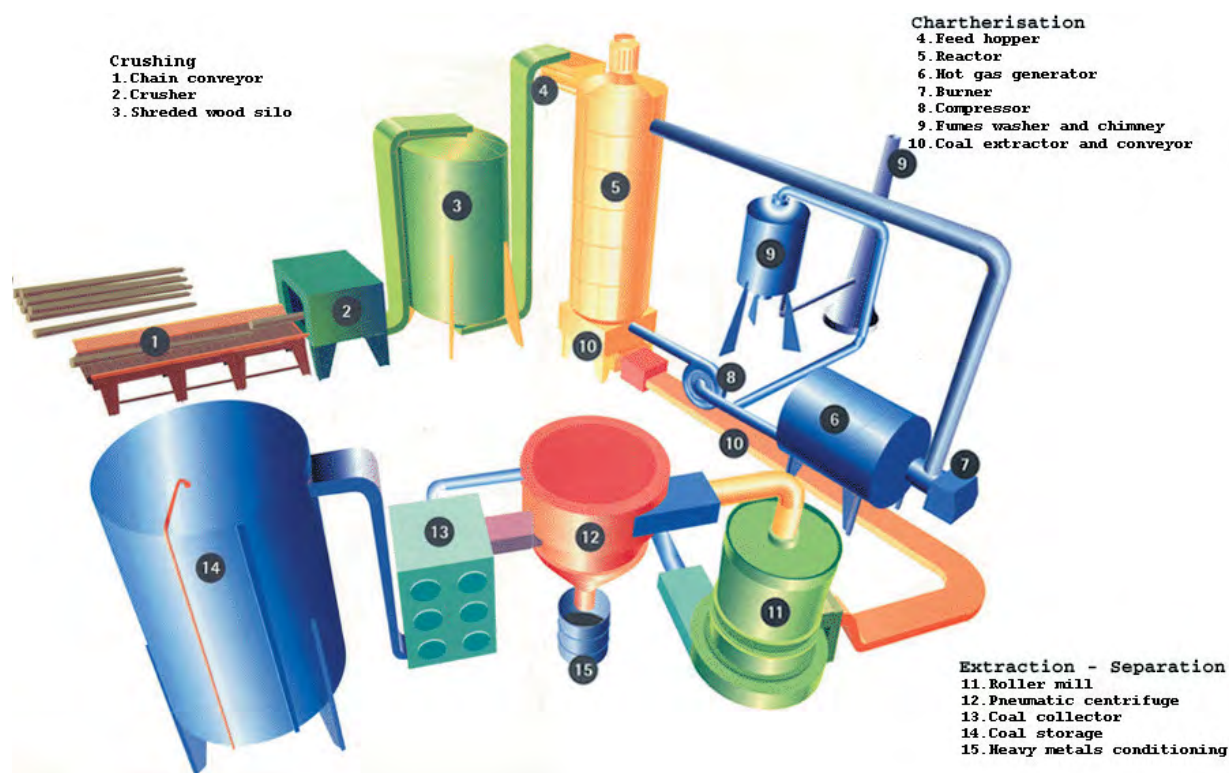


Fig 32: Reciclaje de residuos de madera tratada: proceso Chartherm.

contiene. Cuando el producto reducido es lo suficientemente fino, se pasa a través de una criba y se transporta a una centrifugadora donde, por diferencia de densidad entre el carbón y los metales pesados, éstos son lanzados contra las paredes exteriores del centrifugador de donde son recuperados. El carbón cae hacia el centro, desde donde pasa a un filtro de mangas. Al final del proceso se encuentra un subproducto, carbón, en una cantidad equivalente al 25% del residuo de madera de partida, con un elevado grado de pureza y un valor calorífico de 6.500 kcal/kg. Este material se puede utilizar como combustible en la industria pesada, presentando la ventaja de la casi nula generación de cenizas tras su combustión. El residuo final generado en el proceso representa el 3% del peso inicial del residuo. La efectividad del proceso garantiza la recuperación del 99,925% de metales pesados y otros minerales atrapados durante el proceso.

7.3 Valorización energética de residuos de madera tratada

Al estudiar el posible impacto de emplear los residuos de madera tratada como combustible para fines de valorización energética se plantean dos tipos de procesos. Aquéllos en los que se tratan y controlan las emisiones de los compuestos generados en la combustión de esa madera (que llamaremos valorización energética controlada) y las operaciones que se lleven a cabo sin tratamiento y control de las emisiones (que llamaremos valorización ener-

gética convencional). De cara al estudio de los riesgos potenciales de llevar a cabo este tipo de combustiones la segunda de ellas implica claramente una mayor repercusión sobre los receptores.

Es importante a la hora de estudiar esta valorización energética convencional tener en cuenta si se lleva a cabo en espacios abiertos o en espacios cerrados (fuegos bajos, hornos interiores, etc.), donde la exposición es mucho mayor.

La combustión en espacios abiertos provocará una serie de impactos genéricos que tendrán que ver con efectos sobre la calidad del aire (efecto invernadero, cambio climático, lluvia ácida, etc.). En este caso es de especial relevancia la formación durante la combustión de compuestos persistentes con alto grado de peligrosidad (principalmente, dioxinas y furanos). La formación de este tipo de sustancias viene condicionada por la combustión de compuestos orgánicos aromáticos y halogenados (mayoritariamente, compuestos clorados). Bajo esta premisa es de esperar que la combustión de residuos que presentan compuestos aromáticos (como los PAHs o los fenoles) suponga un alto grado de impacto hacia la calidad del aire (y hacia el medioambiente en general). El cálculo de las emisiones de compuestos peligrosos es de difícil estimación dado que requiere el conocimiento de infinidad de variables que toman parte en los procesos de combustión. Sin embargo, en este caso es asumible que los residuos de traviesas/postes tienen una alta probabilidad de formación de compuestos orgánicos persistentes.

tes (COPs) durante su combustión. Además, de entre los metales pesados incluidos en el estudio, tanto el As como el Cr presentan temperaturas de ebullición relativamente bajas, lo que implica la volatilización potencial de estos metales en los procesos de combustión. Esta liberación incontrolada de As y Cr representa un riesgo potencial de impacto de primera magnitud, ya que ambos compuestos conllevan una alta peligrosidad.

En cuanto a las combustiones en lugares cerrados se plantearía la misma situación que en las combustiones al aire libre, sólo que la situación se agravaría significativamente ya que el volumen de aire de dilución sería mucho menor, la concentración de los compuestos emitidos sería

mucho mayor y, por lo tanto, la exposición de los receptores (que en los espacios cerrados cabe pensar que sean mayoritariamente humanos). En este caso, las principales vías de exposición serían la inhalación de polvo y vapores, y la ingestión de polvo.

En cuanto a la valorización energética en instalaciones dotadas de dispositivos que permiten controlar/minimizar la emisión de sustancias peligrosas a la atmósfera, no cabría esperar afecciones a la calidad del aire (y la consiguiente dispersión/deposición hacia otros compartimentos ambientales) de sustancias que supongan un riesgo hacia el ser humano o los ecosistemas.

8 Futuras líneas de investigación en el ámbito de residuos de madera tratada en la Comunidad Autónoma del País Vasco

En el ámbito de investigación abierta en el presente proyecto, se apuntan las siguientes líneas de investigación, por orden de prioridad, dirigidas a resolver ciertas incertidumbres relacionadas con el potencial de riesgo y la gestión de los residuos de madera tratada:

- Análisis de riesgos asociados a diferentes opciones de gestión y aplicaciones de los residuos de madera tratada.
- Evaluación medioambiental de residuos de madera tratada en determinadas aplicaciones: efecto del la-

vado cuando se reutilizan como elementos paisajísticos, efecto tóxico cuando se utiliza como materia prima en tableros aglomerados.

- Estudio prospectivo de generación de residuos de madera tratada en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Comparación con Europa. Posición de países europeos en esta materia.